



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur,  
trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

## Träds inverkan på solstrålning mot bebyggelse

- Effekterna av trädval och placering i staden, sett ur ett hållbarhetsperspektiv.

**Clara Hansson**

Självständigt arbete • 30 hp  
Landskapsarkitektprogrammet  
Alnarp 2014

**Träds inverkan på solstrålning mot bebyggelse –  
effekterna av trädval och placering i staden, sett ur  
ett hållbarhetsperspektiv.**

Trees impact on solar radiation towards settlements

- the importance of selecting trees and placing, from a sustainable perspective.

Clara Hansson

**Handledare:** Johanna Deak Sjöman, SLU, Institutionen för  
Landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Btr handledare:** Tim Delshammar, SLU, Institutionen för  
Landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Examinator:** Anders Larsson, SLU, Institutionen för  
Landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Btr examinator:** Anders Kristoffersson, SLU, Institutionen för  
Landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Omfattning:** 30 hp

**Nivå och fördjupning:** A2E

**Kurstitel:** Master Project in Landscape Planning

**Kurskod:** EX0774

**Ämne:** Landskapsplanering

**Program:** Landskapsarkitektprogrammet

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2014

**Foto:** Författare där inget annat anges

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Online publication of this work:** <http://epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** solstrålning, värmestrålning, skugga, träd, stad,  
transmissivitet, energiförbrukning, stadsplanering

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och  
växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Förord**

Under de senaste åren har mitt intresse för träd och dess otaliga fördelar ökat, däribland fascinationen för trädets klimatreglerande egenskaper. Eftersom hållbar stadsutveckling även är ett viktigt förhållningssätt för mig valde jag att kombinera dessa två ämnen i mitt examensarbete på Landskapsarkitektprogrammet. Visionen var att examensarbetet skulle ge ökade kunskaper som kan appliceras och fortsätta att utvecklas i framtida projekt och uppdrag.

Det har varit mycket givande att undersöka trädens inverkan på solstrålning i urban miljö, och jag vill rikta ett stort tack till min handledare Johanna Deak Sjöman som har väglett, stöttat och gett mig relevant feedback genom hela arbetet. Ett stort tack vill jag även ge min biträdande handledare Tim Delshammar för att ha bistått med hjälp med struktur och den språkliga delen ända ifrån arbetets början.

### **Sammanfattning**

I denna uppsats studeras stadsträds påverkan på solstrålning i urban miljö. Idag täcks den största andelen yta i staden av hårdgjort material, många av dem mörka som exempelvis asfalt eller mörkt tegel. Till skillnad från vegetation har det hårdgjorda materialet en större förmåga att absorbera och lagra den värme som via solens instrålning når jordskorpan under dagen. Värme eller kyla som lagras i en tät stad med höga byggnader kan behålla temperaturen länge. Orsaken till detta är att det skapas ett temperaturutbyte mellan materialen i staden så att byggnaderna antingen värms upp eller kyls ned ytterligare. Under nattetid emitteras lagrad värme som långvågig strålning tillbaka ut mot atmosfären och värmer upp luften. Av denna anledning förskjuts stadens temperaturmönster tidsmässigt till skillnad från omgivande områden.

Stadens gröna miljöer kan effektivt användas för reglering av solstrålning. Här är det framförallt stadsträd som genom beskuggning och evapotranspiration påverkar infallande solstrålning samt värmestrålning. Olika träddarter har en egen unik karaktär på habitus och dess lövfällande, städsegröna eller vintergröna egenskaper skapar olika förutsättningar för reducering av strålning. Ett träd som ger behaglig skugga på sommaren kan exempelvis ha negativ inverkan på både utom- och inomhusklimatet under vinterhalvåret om beskuggning från grenverk blir alltför påtagligt. Även inom ett platsspecifikt sammanhang, som till exempel på en bostadsgård, kan ett och samma träd skapa olika mikroklimatförhållanden beroende på årstid.

Med hjälp av strategisk planering av stadsträd i förhållande till bebyggelse kan infallande solstrålning mot bebyggelse

justeras sommartid så väl som vintertid. På så sätt bidrar träden till en hållbar ansats vad gäller exempelvis mängden lagrad energi i byggnader och som direkt kan kopplas till energiförbrukning och hållbar utveckling.

### **Summary**

This paper examines the influence of how trees in the urban landscape influence solar radiation in the built up environment. In contrast to rural landscapes, towns and cities are dominated by the use of impermeable and often dark coloured building materials. Unlike areas with extensive vegetation, city centres with taller buildings and dark solid landscaping materials will absorb larger amount of solar radiation during the day. Due to a lower albedo (whiteness of material surfaces) and too often limited access of an open sky view (sky view factor), heat – but also very cold temperatures, get stored in the mass of the materials. Heat that is stored in the city during daytime emits to the atmosphere as longwave radiation at night. The longwave radiation warms up the surrounding air and makes the urban landscape warmer compared to its surroundings – an effect referred to as the Urban Heat Island Effect.

The Urban Heat Island Effect may contribute to an excess of energy use in terms of cooling buildings with air conditioning during hot summer days and nights. However, urban vegetation provides an effective influence to the adjustment of solar radiation in towns and cities. Trees are specifically superior for this purpose due to their capacity and the evapotranspiration of the leaves – something which affects both incident solar radiation and terrestrial radiation. Trees have a variety of appearances and characteristics depending on species. Deciduous or evergreen trees will also create quite different conditions for reduction of radiation exposure. Trees also create different microclimates depending on season – even within a site-specific context, such as in a housing estate. For instance, a tree that provides pleasant

shade in summer may have a negative impact on both outdoor and indoor climate during the winter months due to deep shadow effects from the branches.

Using strategic planning in decisions of tree species and where to position trees in the urban landscape, creates a good possibility to adjust the incident solar radiation in the built environment – in summer as well as in winter. This is why trees contribute to a sustainable approach in terms of the amount of stored energy in buildings, which can be directly linked to energy use and sustainable development.



## Träds inverkan på solstrålning mot bebyggelse



(Lund, 2014)

## Innehållsförteckning

Inledning .....	8	Slutsats.....	48
Bakgrund.....	8	Checklista.....	50
Problemformulering.....	9	Källor.....	52
Syfte .....	10	Bilagor.....	58
Mål .....	10		
Frågeställningar.....	10		
Metod och tillvägagångssätt.....	11		
Målgrupp.....	11		
Avgränsning.....	12		
Källkritik.....	12		
Begreppsförklaring .....	13		
Solstrålning i den hårdgjorda staden .....	17		
Solstrålning mot bebyggelse.....	17		
Sol- och värmestrålnings inverkan på klimatförändringarna	19		
Träds betydelse som strålnings-reglerande byggnadselement i staden.....	22		
Hur habitus och årstid inverkar på den infallande solstrålningen.....	26		
Träds kapacitet att påverka solstrålning efter väderstreck....	30		
Lagstöd och metoder för strategisk planering av vegetation i Sverige.....	32		
Diskussion.....	38		
Fortsatt forskning.....	46		
Kommentarer .....	46		

## Inledning

### Bakgrund

Hållbar utveckling har under senare tid varit en viktig samhällsfråga. Ett särskilt fokus riktas mot städerna eftersom de dels förbrukar störst mängd energi beräknat per antal invånare samt att den snabba urbaniseringen med förtätning som följd konkurrerar ut många grönytor utan att nämnvärt reflektera över konsekvenserna. Urbaniseringen ökar så drastiskt att över hälften av jordens befolkning bor i städer idag. Denna trend ser inte ut att brytas under en överskådlig framtid och år 2050 beräknas 75 % av jordens befolkning bo i urbana områden. (Roy et al. 2012) Av denna information kan slutsatsen dras att den gröna strukturen i världens städer är hotad och att det därför finns ett ökat behov av starka argument som värdesätter och försvarar vegetationens existens i urban miljö. Det vill säga argument som försäkrar att gröna miljöer tillåts vara en del av den framtida staden.

Trots en kraftigt växande urbanisering och minskad andel gröna ytor i staden, finns det arbetsmetoder som framhåller grönskans värden i form av ekosystemtjänster. Här kan exempelvis nämnas verktyget i-Tree som kan värdera träd efter dess förmåga att bidra med ekosystemtjänster och andra ekonomiska fördelar som exempelvis reglering av energiförbrukning i byggnader (i-Tree 2014). Ekosystemtjänster är ett brett begrepp som enligt The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) innehar den korta definitionen *"Ekosystemens direkta och indirekta*

*bidrag till människors välbefinnande"* (Granath, et al. 2012. s. 5). Begreppet innefattar både försörjande tjänster; exempelvis att få livsmedel från odlade grödor, eller reglerande tjänster; som hur vegetation kan inverka på vind och luftflöden samt rening och fördröjning av dagvatten (Granath, et al. 2012). Då uppsatsen fokuserar på trädens förmåga att reglera solstrålning klassas det således som en reglerande ekosystemtjänst.

Det pågår en intensiv forskning och etablering av ekosystemtjänster på både lokal och global nivå. Europeiska Unionen, Förenta Nationerna, Europeiska miljöbyrån, The Economics of Ecosystems and Biodiversity och Världsbanken, åtföljs av en mängd organisationer värden över i utförandet av strategiarbeten och räkenskaper som är knutna till ekosystemtjänster. (Granath et al. 2012) De ovan nämnda organisationerna är globalt inflytelserika och med stor sannolikhet hjälper de till att bana väg, uppmuntra och öka status och prioritet på strategisk grönplanering. En kvalitetsfylld grön infrastruktur, det vill säga nätverket av vegetation och genomsläpplig mark, är på så sätt direkt kopplad till en hållbar investering för framtiden där anpassning till förändrade klimatförhållanden utgör en väsentlig del (Benedict och McMahon 2006).

Hough (2004) och Raeissi och Taheri (1999) beskriver hur människan genom generationer har förstått sambandet mellan klimat, stadsbyggande och energieffektivitet och utefter dessa kunskaper skapat platsspecifika och klimatsmarta städer som är anpassade för dess geografiska situation. Hough (2004) menar vidare att teknikens utveckling har minskat byggnadsmetodernas behov av att vara platsspecifika sedan senare delen på 1900-talet, eftersom temperatur och ljus kan regleras med hjälp av mekaniska funktioner. Denna förändring har ökat stadens påverkan på sin omgivning i en större utsträckning än någonsin tidigare och en allt tätare stad, med dålig



infiltration och hög värmealstring driver på processen ytterligare. De lokala värmeutsläppen från städer har en direkt koppling till globala konsekvenser. (Hough 2004) En av dessa globala konsekvenser är den urbana värmeöeffekten (Urban Heat Island effect), som gör att staden blir varmare än dess omgivning. Denna värmeöeffekt anses som ett av de största problemen för mänskligheten under detta århundrade på grund av dess negativa effekter på klimat och ekonomi. (Ahmed Memon et al. 2008).

Flera källor är överens om att vegetation och framförallt träd spelar en avgörande roll för reducering av dessa negativa konsekvenser (Ahmed Memon et al. 2008; Hough 2004; Papadakis et al. 2001; Raeissi & Taheri 1999; Sawka et al. 2013; Yu & Hien 2006). Träd är därför ett mycket intressant byggnadselement i staden med en stor användningspotential, inte minst för att dess vertikala volym skapar fördelaktiga förhållanden då de horisontella ytorna i staden krymper och byggnadshöjderna blir högre. I jämförelse med övrig grönska i staden som exempelvis gräsytor, perennplanteringar, växtväggar och sedumtak, som blir en allt mer vanligt förekommande grönska i staden, utgör träd nyckelspelaren. Träd har ett försprång på grund av dess fleråriga tredimensionella struktur och har mångfacetterade egenskaper tack vare arternas varierande diversitet av storlek, stamtjocklek, löv- och grenverk. (Granath, et al. 2012) Av ovanstående argument kan slutsatsen dras att träd spelar en viktig roll i den urbana miljön och att de förtjänar sitt utrymme även i den framtida staden.

## ***Problemformulering***

Det krävs utveckling av hållbart stadsbyggande för att minska de hårdgjorda städernas negativa påverkan på det globala klimatet. Utvecklingen är nödvändigt för att minska städernas utsläpp av värme och dess förmåga att uppnå extrema temperaturer. (Thorsson 2012) Att justera solstrålning och därmed temperaturen i staden samt att utnyttja möjligheterna för en minskad energiförbrukning i byggnader är därför en viktig del i stadsplaneringen. Med hjälp av strategiskt medvetna val och kunskaper om vegetationens möjligheter går det att styra när- och lokalklimatet i staden som i sin tur utgör en del i den globala klimatpåverkan. Att inte reflektera eller genomföra god vegetationsplanering av klimatet i staden, kan tvärtom ge en motsatt negativ effekt. (Pressman 1995)

Sverige är ett land där solen står lågt under stora delar av året och därför möter svensk stadsplanering andra designutmaningar och konsekvenser än stadsbyggare i södra Europa. Av dessa anledningar önskar denna uppsatts att samla information och medvetandegöra planering och placering av träd i urbana landskap. Genom att sätta uppsatsen i ett sammanhang kopplat till ökad klimatförändring och dess följder kan paralleller dras till möjligheten för ett strategiskt hållbart stadsbyggande.

## **Syfte**

Syftet med uppsatsen är att belysa betydelsen av strategisk planering av träds påverkan av solstrålning mot bebyggelse. Fokus har riktats mot att belysa vikten av träd som ett dynamiskt så väl som ett integrerat stadsbyggnadselement för att öka möjligheterna för hållbar utveckling. Ett sekundärt syfte har varit att ge en kortfattad sammanställning över vilka verktyg som idag finns tillgängliga för yrkesverksamma inom grönplanering och hållbart stadsbyggande när det kommer till en strategisk koppling till trädarter och deras platsspecifika placering vad gäller sol- och värmestrålning.

## **Mål**

Målet är att ge en beskrivning av infallande solstrålning i staden samt hur trädval och placering påverkar solinstrålning mot bebyggelse sett ur ett hållbart perspektiv. En del av målet går även ut på att undersöka vilka lagar eller verktyg som kan stötta en ökad användning av träd i stadsmiljö.

## **Frågeställningar**

Då en stor del av den primära värme som höjer temperaturen i den hårdgjorda staden kommer från solen, är arbetet inriktat på solstrålning och indirekt den värmestrålning som skapas i kontakt med markytan. Fokus riktas på träd och dess skugggivande effekter mot bebyggelse samt vilka konsekvenser de skapar i relation med hållbar utveckling och energiförbrukning. Frågeställningen bygger bland annat på Nikoofard et al. (2011) och Schlyter och Buchts (1977) beskrivning om att geografiskt läge, årstid och trädets karaktär är viktiga påverkans aspekter för solstrålning mot bebyggelse.

- Vad har träds transmissivitet egenskaper för betydelse för solstrålning mot bebyggelse?
- Hur skiljer sig effekterna av trädval och placering åt ur ett hållbarhetsperspektiv?
- Hur kan träd i staden få en högre prioritet ur stadsplaneringssynpunkt?

## **Metod och tillvägagångssätt**

Uppsatsen består i huvudsak av en litteraturstudie med efterföljande diskussion och slutsats. Arbetet avslutas med en lättöverskådlig checklista som konkretiserar resultatet och sammanfattar arbetets utfall.

Litteraturstudien är sammanställd av publicerad forskningsbaserad litteratur från både böcker och vetenskapliga artiklar. Studien kartlägger det samtida läget inom forskningsområdet gällande stadsträds påverkan på solstrålning. Litteraturstudien inleds med en bakgrund till hur solstrålning och stadsträd hänger ihop med hållbar stadsutveckling och varför det är ett viktigt ämne att diskutera i samtiden samt dess betydelse för framtiden. Checklistan, som avslutar uppsatsen, redovisar en sammanställd slutsats av litteraturstudiens resultat. Detta är en effektiv informationskälla för intresserade att kunna ta del av uppsatsens slutprodukt i en samlad och konkret förhållning.

Litteratursökandet till uppsatsen har utgått från de svenska och engelska sökorden för "solstrålning", "träd", "skugga", "transmissivitet", "urban", "bebyggelse", "värmestrålning" och "energieffektivisering". Orden har använts som sökord både enskilt, i kombination eller som synonymer. Sökning efter artiklar gjordes via SLU bibliotekets söktjänst Primo där artiklarna ofta refererade vidare till ytterligare databaser. I flera fall har artiklar hittats via en tvåstegs sökstrategi då en tidigare läst artikel hänvisar vidare till en annan artikel och som relaterar till liknande titel eller innehåll. Sökorden har även använts till att söka efter böcker i SLU-biblioteket samt på LIBRIS funktion för träffar på bibliotek i andra delar av Sverige. Specifika sökord har även använts på sökmotorer på internet för att bredda sökfältet.

I den första fasen av uppsatsen lades stor vikt vid att ta del av så mycket litteratur som möjlig rörande ämnesområdet, för att sedan smälta av informationen, skapa sammanhang, förstå kontext och kopplingar.

## **Målgrupp**

Uppsatsen riktar sig till intresserade, studerande eller verksamma inom planering och gestaltning som vill veta mer om träds förmåga att reglera solstrålning i staden.

## **Avgränsning**

Ämnet för detta examensarbete är valt för att stödja vegetationens höga värde och prioritet i urbana miljöer. Examensarbetet är begränsat till träd i sydsvenska förhållanden och dess roll som ett temperaturreglerande element i staden. Att uppsatsen främst fokuserar på urban miljö och inte på landsbygden beror på att staden ger ett mycket större avtryck på miljön, atmosfären och energiförbrukning än rural miljö (Roy, Byrne & Pickering 2012). Anledningen till att uppsatsen enbart berör träd och inte andra gröna element är på grund av att träd har en stor användningspotential för att skapa skugga med sin vertikala volym, fleråriga tredimensionella struktur samt dess arters diversitet i storlek, stamtjocklek, löv- och grenverk. (Granath, et al. 2012)

Nikolopoulou et al. (2001), Eliasson et al. (2007) och Jackson (2003) lyfter fram att träds fördelar på mikroklimatet i staden har stora effekter på människors hälsa och välbefinnande. Denna uppsats behandlar inte hälsoaspekter eller människors fysiska komfort och upplevelser av strålning och temperatur. Detta på grund av att den upplevda komforten styrs av flera sammanlänkade orsaker, som exempelvis sol- och värmestrålning, luftfuktighet, vind, fysisk kondition, kläder, omgivande miljö, et cetera (Eliasson et al. 200). Även om denna uppsats inte behandlar dessa faktorer hade det varit intressant att skriva om i en senare uppsats.

## **Källkritik**

Litteraturstudien är sammanställd från publicerad forskningsbaserad litteratur från böcker och artiklar. Studien sammanställer den samtida relevanta informationen från forskningsområdet rörande stadsträds påverkan på solstrålning. Avgränsning av en bestämd ålder på litteraturen kommer inte att göras men källor som publicerats tidigare än för 10 år sedan kommer att granskas och jämföras kritiskt med senare publicerat material. Litteratur som innehåller statistik eller annan information som årligen förändras eller uppdateras kommer att kompletteras med samtida information från hemsidor tillhörande organisationer, uppslagsverk eller liknande källor. Informationen i arbetet kommer att referera till forskningsstudier i och utanför Sverige men skall ha en relation eller kunna vara applicerbar på de klimatzoner eller andra situationer som berör södra delen av Sverige.

Statistik om gradantal, relaterat till lokala temperaturförhöjningar orsakade av solstrålning mot bebyggelse, har medvetet inte tagits med i uppsatsen eftersom det frångår sin kontext. Eftersom uppsatsen är inriktad efter nordiska förhållanden är det svårt att ha med uppgifter om att städer exempelvis kan bli ”10 grader varmare nattetid än omgivningen”, eller att ”ytor i hårdgjord miljö kan bli 30 grader varmare än normalt”, om inte källan beskriver vilket område det är beräknat efter eller hur de normala temperaturförhållandena är. Därför innehåller uppsatsen sparsamt med statistik av sådant slag.



## Begreppsförklaring

- Albedo: Ett materials ”vithet”. Materialets förmåga att reflektera inkommande solstrålning – det vill säga den andel av vinkelrätt infallande ljus som återkastas av en yta eller en kropp. Ju högre albedoindeks ju högre reflektionskapacitet. (Albedo 2014)
- Atmosfärisk motstrålning: den värmestrålning som atmosfären reflekterar tillbaka mot jorden och som skapar en växthuseffekt (Taesler et al. 1972).
- BREEAM: Det brittiska Byggforskningsinstitutets (BRE) miljöklassningssystem; Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) är ett av världens största internationella miljöklassningssystem som certifierar hållbar stadsbyggnad (Heincke et. al 2012; SGBC 2014a).
- Diffus solstrålning: Solstrålning som når ned till mark- eller havsnivå genom ljusspridning i atmosfären medan (Solstrålning 2014)
- Direkt solstrålning: Solstrålning som når ned till mark- eller havsnivå utan att spridas i atmosfären. (Solstrålning 2014)
- Ekosystemtjänst: Ekosystem som bidrar till direkta och indirekta fördelar för samhället och människors välbefinnande genom försörjande och reglerande tjänster (Granath, et al. 2012).
- Emission: Förmåga att sända ut värme; att ge ifrån sig värmestrålning (Thorsson 2012).
- Evapotranspiration: Avdunstning av vatten från träd eller annan vegetationsklädd markyta (Evapotranspiration 2014).
- Globalstrålning: Direkt + diffus solstrålning (Glaumann & Nord 1993).
- Gränsskikt: Nedre delen av atmosfären inom meteorologin, där utbytet mellan mark och atmosfär av rörelsemoment, temperatur och fuktighet sker (Gränsskikt 2014).
- Habitus: Helhetsintryck, uppbyggnad eller allmän beskaffenhet av en organism (Habitus 2014). I uppsatsen hänvisas termen habitus till ett trädsk habitus.
- Mikroklimat: Det klimat som råder i luftskikten nära en yta från ringa millimetern upp till 1000 meter (Mikroklimat 2014).
- Konvektion (borttransporterande): Förflyttning av termisk energi (värme) genom material orsakat av skillnader i dess densitet. Exempelvis värmerörelsen från solstrålning till värmestrålning genom en byggnads massa som påverkar inomhustemperaturen (Konvektion. 2014).
- Konduktion (ledande): Se förklaring för Konvektion

- LEED: Amerikanska Leadership in Energy and Environmental Design, (LEED) är ett av världens största internationella miljöklassningssystem. LEED certifieras av Green Building Certification Institut via U.S. Green Building Council, (USGBC). (Heincke et. al 2012; SGBC 2014b)
- Lokalklimat: Klimatet inom ett mindre område, vanligen mellan 100 meter till 50 km, t.ex. en skog eller en stad. Lokalklimat kan skilja sig avsevärt även mellan korta avstånd och förstärkas av markytan eller terrängens utformning. (Lokalklimat 2014)
- Solstrålning: Energi som i form av elektromagnetisk strålning från solen tillförs jorden och atmosfären. (Solstrålning 2014).
- Strålning, kortvågig: instrålningen från solen och himlen (Taesler et al. 197).
- Strålning, långvågig: den strålning som sänds ut av värmen som absorberats på marknivå och strålas tillbaka ut genom atmosfären - värmestrålning (Taesler et al. 1972).
- Transmission: När ett material överför eller släpper igenom strålning, exempelvis vanligt ljus (Transmission 2014).
- Värmestrålning: Elektromagnetisk strålning som avges från material och ytor och som kan bidra till olika termiska förhållanden (Taesler et al. 1972).
- Värmeöeffekt (Urban heath island effect): Den temperaturökning som stadslandskapet erhåller nattetid (jämfört med omkringliggande landsbygd) (Ahmed Memon et al. 2008).



## Solstrålning i den hårdgjorda staden



(Stockholm, 2014)



## Solstrålning i den hårdgjorda staden

### *Solstrålning mot bebyggelse*

Den infallande strålningen från solen har en betydande inverkan på jordens klimat ända från global skala ner till mikronivå (Glaumann & Nord 1993). Strålningen bestäms av andelen reflekterande molnmängd, solhöjden samt solvinkeln mot jorden (Thorsson 2012). Breddgrad, vattenånga och stoft i atmosfären är även viktiga faktorer som bestämmer mängden av direkt och diffus solstrålning, (globalstrålning) (Glaumann & Nord (1993). På sträckan genom atmosfären ned mot jordytan transformeras den infallande och kortvägiga strålningen till flera energiformer. En viss del absorberas högt upp i atmosfären av ozon och syre, och närmast jordytan omvandlar vattenånga och koldioxid strålningen till värme i luften. (Taesler et al. 1972) Den strålning som träffar jordytan antingen reflekteras eller absorberas beroende på vilket material det träffar, och övergår då till långvägig strålning (värmestrålning). Den absorberade strålningen i markytan och bebyggelsen alstras och höjer temperaturen i massan. (Glaumann & Nord 1993; Taesler et al. 1972)

### *En varmare stad*

Urbana miljöer har en högre temperatur än omgivande landsbygd (Akbari et al. 2001; Boverket 2010; Glaumann & Nord 1993; Thorsson 2012). Denna situation uppkommer eftersom staden till skillnad från landsbygdens större vegetationsområden, vattensamlingar och genomsläpplig mark, till största del består av hårda ogenomsläppliga och

mörka material, som exempelvis asfalt. Jämfört med landsbygden har de mörka materialen låga albedovärden som i sin tur bidrar till ett högt alstrings- och emissionsvärde (Akbari et al. 2001; Boverket 2010; Glaumann & Nord 1993; Thorsson 2012). Glaumann och Nord (1993) förtydligar att denna situation även gäller för våra svenska städer och inte bara för större städer i sydliga klimat. Den höga alstringskapaciteten förstärks av att stadens ytor och material har en låg avkylningsförmåga på grund av att markmaterialen ofta är täta och ogenomsläppliga. På grund av den låga infiltrationskapaciteten hindras regnvatten från att kyla lagrad värme i marklagren under marknivå. (Boverket 2010)

När solen gått ned och lufttemperaturerna sjunker avger de mörka materialen på fasader, tak och mark den värme som de alstrat under dagen. (Akbari et al. 2001; Boverket 2010; Taesler et al. 1972) Detta sker via emission, avdunstning eller konvektion (Glaumann & Nord 1993). Hur mycket strålning som avges beror på materialet eller ytans emissivitet och temperatur (Thorsson 2012). Mörka ytor alstrar en högre andel värme än ljusa material under dagen (Akbari et al. 2001; Boverket 2010; Thorsson 2012). På grund av den stora mängd mörka ytor i staden tar det längre tid för temperaturerna att kylas ned under kvällen och natten i jämförelse med omgivande vegetationsklädda landskap (Glaumann & Nord 1993; Thorsson 2012). Temperaturskillnaderna mellan stad och land är av denna anledning påtagligt större under nattetid än under dagtid (Glaumann & Nord 1993). Tättbebyggda områden med höga byggnadshöjder hindrar alstrad värmestrålning från att emitteras och håller därför kvar värmen och höjer lufttemperaturen ytterligare (Coutts et al. 2007; Glaumann & Nord 1993). Även den temperatur som alstras i byggnader värmer via konvektion upp inomhusmiljön så att den får en högre temperatur än utomhusluften (Boverket 2010).

Ljusa material har ett högt albedo och reflekterar därför tillbaka en stor del av den infallande strålningen ut i luften och upp i atmosfären. (Akbari et al. 2001; Boverket 2010). Då långvågig strålning som reflekterats eller emitteras kommer i kontakt med vattenånga och koldioxid i luften sker ytterligare uppvärmning som i sin tur fortsätter att kontinuerligt utsända och sprida värmestrålningen vida omkring. Eftersom olika material har olika högt albedo bildas lokala temperaturvariationer i luften. Under klart soligt väder kan dessa lokala skillnader bli extra stora. (Taesler et al. 1972) Den värme som städerna avger och som strålar upp genom atmosfären berör vidsträckt omkringliggande områden. Staden kan därför beskrivas som ett värmande element som höjer temperaturen på lokal nivå, men eftersom jorden täcks av ett nät av städer och vägar blir effekten global. (Akbari et al. 2001)

### ***Luftföroreningar i staden försämrar solinstrålningen***

Solstrålning har inte ett fritt spelrum mot jordytan utan påverkas bland annat av moln och mängden luftföroreningar i luften. Städer med industrier och fordon som släpper ut mycket avgaser med höga halter av fasta och gasformiga föroreningar reducerar en stor mängd av solinstrålningens kapaciteten. (Glaumann & Nord 1993; Taesler et al. 1972) Föroreningar kan bilda ett lock av föroreningar som omsluter staden och hindrar solens strålar att nå ned till marknivå. I en stad med mycket luftföroreningar reduceras därför solinstrålningen och soltiden kraftigt. (Glaumann & Nord 1993) Reduceringen är särskilt märkbar när solen står lågt över horisonten eftersom den kortvågiga strålningen då färdas en längre sträcka genom atmosfären. Detta innebär en större möjlighet för strålningen att absorberas och spridas. Föroreningar orsakar därför en betydlig reduktion av

solinstrålningen i staden under vinterhalvåret jämfört med solinstrålningen över landskap med renare luft under samma period. (Taesler et al. 1972)

Strålning som reflekterats eller avgetts från bebyggelse kan absorberas och reflekteras tillbaka av tungt förorenad luft. I och med att luftföroreningarna håller kvar värmen nära markytan bidrar fenomenet till att temperaturen vid marknivå höjs. (Ahmed Memon et al. 2008) Eftersom halten av föroreningar i luften är sammankopplade med vindar, väder och topografi är även de viktiga aspekter på grund av dess påverkan till hur mycket infallande strålning som reduceras och hur mycket strålning som hålls kvar (Taesler et al. 1972).

Ett område med ojämn uppvärmning mellan jord och atmosfär leder till skillnader i lufttryck (Glaumann & Nord 1993). En stad som har högre temperatur än sin omgivning påverkar lufttrycket och skapar ett varmt och turbulent luftskikt nära marknivå i staden, (det urbana gränsskiktet). Gränsskiktets rörelse och utbredning kan variera stort under dygnet beroende på hur stora temperaturskillnaderna är, hur stadsstrukturen är utformad och hur höga byggnaderna är. Det urbana gränsskiktets utbredning har stor påverkan för hur föroreningar sprids i en stad. En god kännedom om hur dess förhållande ser ut i samband med omkringliggande bebyggelsestruktur är därför viktig eftersom det påverkar platsens strålningskapacitet. (Thorsson 2012)

## **Sol- och värmestrålningens inverkan på klimatförändringarna**

Tillgång på framför allt ljus och värme spelar en viktig roll för Sveriges befolkning eftersom det är mörkt och kallt stora delar av året. Detta ställer krav både på utomhus och inomhusmiljön för att fylla befolkningens behov med ljus och värme. (Schlyter & Bucht 1977) Genom kulturhistorien har människor världen över förstått och utnyttjat lokala förutsättningar för att skapa platsspecifika och klimatsmarta städer som anpassats efter den kontext som tillhör platsen. På grund av teknikens utveckling är byggnadsmetoderna sedan senare delen på 1900-talet inte längre platsspecifikt beroende eftersom tillgången av värme, ljus eller kylning enkelt kan regleras men hjälp av temperaturreglerande system som exempelvis fjärrvärme eller aircondition. (Hough 2004) Förutom att ha reformerat stadsplaneringsprinciper (Schlyter & Bucht 1977) har förändringen lett till att den moderna staden idag har en ofantlig resursförbrukning av energi i en större skala än någonsin tidigare, samtidigt som den ger ifrån sig en stor mängd värme. De konsekvenser som sker på lokal nivå i staden har direkt koppling till globala konsekvenser på grund av att över hälften av jordens befolkning bor i urbana områden. (Ahmed Memon et al. 2008; Akbari, et al. 2001; Boverket 2010; Hough 2004)

### **Värmeöeffekten**

Värmeöeffekten (Urban Heat Island effect) uppstår i följderna av att den hårdgjorda staden alstrar och avger en stor mängd värme. Fenomenet äger rum i både kallare och varmare klimat, men uppmärksammas oftare i varmare klimat eftersom människor med nedsatt hälsa kan drabbas allvarligt

av de extremt höga temperaturer som uppkommer. Värmeöeffekten uppstår nattetid när värme som lagrats i stadens hårdgjorda material under dagen emitteras tillbaka ut i atmosfären. Överskottsvärmen höjer den kalla nattluftens temperatur och skapar obalans med den omkringliggande miljöns lägre lufttemperatur. När solens strålar träffar byggnadskropparna på morgonen är de nedkylda och kalla och dess massa tar längre tid att värma upp än exempelvis vegetationstäckta ytor. (Ahmed Memon et al. 2008; Akbari et al. 2001) Värmeöeffektens temperaturskillnader är därför störst nattetid eftersom det tar lång tid för staden att kylas ned på kvällen i jämförelse med omgivningen (Thorsson 2012). Thorsson (2012) förtydligar även i följande citat på sidan 11 vad som orsakar tidpunkten för värmefenomenet; *"Tidpunkten för den maximala värmeöeffekten beror på stadens och landskapets egenskaper, årstiden och rådande väderförhållanden, men den når i allmänhet 3 till 5 timmar efter solnedgången."* Citatet förtydligar att det inte bara är hur stor andel av staden som är hårdgjord utan även att karaktären av det omgivande landskapet har en betydande inverkan på hur stor temperaturskillnaden mellan stad och land blir. Akbari et al. (2001) menar att den företeelse som värmeöeffekten skapar förskjuter stadens temperaturmönster från den rurala miljöns temperaturmönster, vilket har en betydande effekt på klimatet i både lokal och global skala.

Glaumann och Nord (1993) skriver att värmeöeffekten till stor del påverkas av stadens täthet eftersom värmen som lagrats i byggnadernas massa hjälper till att värma upp varandra. Eftersom värmen har svårt att emitteras hålls den kvar under en längre tid och höjer lufttemperaturen. Eftersom städerna oftast är tätast i centrumkärnan är det även här effekten är mest märkbar. I moderna centrumkärnor finns oftast de högsta byggnadshöjderna vilket bidrar till urbana raviner i stadsstrukturen som påverkar infallande och utgående strålning. (Glaumann och Nord 1993) Även Ahmed

Memon et al. (2008) ger en liknande förklaring och tillägger även att stadens storlek, typ av funktioner och aktiviteter har stor betydelse för värmeöeffekten.

### ***Ökad användning av temperaturreglerande system i byggnader***

Under kalla respektive varma perioder förstärks stadens förmåga för absorbering av temperatur vilket resulterar i ett ökat behov för användning av temperaturreglerande system i byggnader (Akbari et al. 2001). Författarna beskriver en undersökning som utfördes i sex amerikanska städer, och där temperaturen låg mellan 15-20°C, resulterade i en ökad energiförbrukning på 2-4 % för varje extra stigande 1°C. Yu et al. (2012) tar upp ett exempel från en undersökning mellan åren 1994 – 2004 där energiförbrukningen i byggnader i Europa visade sig öka med 1.5 % årligen. I jämförelse låg Nordamerikas värden på 1.9 % och Kinas på 10 % ökning under samma period, men dessa resultat säger dock ingenting om ursprungsvärdena låg högt eller lågt innan undersökningen.

Yu et al. (2012) beskriver att energiförbrukningen i byggnader världen över har ökat drastiskt de senaste decennierna, bland annat på grund av att levnadsförhållandena har förbättrats. Enligt Nordman et. al (2010) är detta även ett faktum för Svenska mått. Kontor, butiker och vårdanläggningar är de lokaler i samhället som oftast har energireglerande system installerade, bland annat på grund av att de har en stor mängd elektronik som avger mycket värme. Eftersom studier visar att behaglig temperatur ökar produktiviteten hos människan är temperaturreglerande system oftast ett måste på arbetsplatser. De senaste åren med heta somrar i Sverige har även lett till en stigande efterfrågan av kylningssystem på bostadsmarknaden,

och behovet förväntas öka i framtiden. När människan snabbt vänjer sig vid lättillgänglig kyla exempelvis i bilen eller på jobbet växer önskan om möjligheten till denna komfort även i bostaden. Dock anses värmebehovet komma att minska på grund av allt varmare vintrar. (Nordman et. al 2010)

McPherson (1992) klargör att byggnader som värms eller kyls av energi från icke förnyelsebara resurser borde reduceras kraftigt för att minska förbrukningen av koldioxid, olja, kol samt kärnkraft på grund av dess negativa effekter på miljön. Nordman et. al (2010) menar att Sverige går mot att bygga mer energieffektiva. Enligt EU-regler ska alla nya byggnader vara nära nollenergihus efter 2019. I Sverige är en stor del av bebyggelsen byggd innan modern tid vilket innebär att byggnaderna inte har lika hög energieffektivitet som nybyggda eller renoverade hus har. I dagsläge bygger Sverige relativt få nya bostäder och lokaler i jämförelse för några decennier sedan. (Nordman et. al 2010)

Under det senaste decenniet råder en ökad trend av att konstruera hus med glasfasader. Nordman et. al (2010) beskriver två teorier om att denna trend antingen kommer att försvinna eftersom kylbehovet, (särskilt för glasfasader söderläge) kommer bli för dyrt och att arkitekturen kommer få ge vika för ett mer klimatsmart alternativ. Den andra teorin är att miljön får stå tillbaka för behovet för glasbyggnader eftersom de har stora fördelar för dagsljus och människans välbefinnande. Ytterligare ett argument från Åslund (2004) är att glasbyggnader kan göras energismarta. I tidskriften beskrivs Whites huvudkontor Katsan, som är en flervånings glasbyggnad i Hammarbyhamnen och som lagrar värme från solen i betongstommen och kyls via vatten från Hammarbysjö i bjälklagen.

Åsikterna om glashus går ofta isär och även om dess inomhusklimat går att justera med hållbara alternativ kan vissa glastyper fungera



som en spegel med en otroligt stark reflektionsförmåga. Om så är fallet blir glasfasader även en bidragande faktor för förhöjda temperaturer i staden. (Se bild 3)



**Bild 3:** Glasytor reflekterar infallande solstrålning och värme mycket effektivt och värmer upp stadslandskapet. Lund, 2014.



Träds betydelse som strålningsreglerande byggnadselement i staden



(Malmö, 2013)



## Träds betydelse som strålnings-reglerande byggnadselement i staden

Det effektivaste sättet att reglera solstrålning i urbana områden är med hjälp av växtlighet, och i synnerhet genom att använda träd (Hough 2004; Papadakis et al. 2001; Raeissi & Taheri 1999; Sawka et al. 2013). Träd skapar olika förutsättningar för sol och skuggförhållanden i relation till den omkringliggande bebyggelsen (Glaumann & Nord 1993; Nikoofard et al. 2011; Russel et al. 1989; Sawka et al. 2013).

### *Träds möjligheter att reglera energiförbrukning i byggnader*

Den skugga som ett träd kastar på en byggnad har direkta konsekvenser för huskroppens energiförbrukning eftersom skuggeffekten reducerar mängden solstrålning som kan absorberas och lagras i byggnadens massa (Nikoofard et al. 2011; Papadakis, et al. 2001). Skuggan har även effekter på lufttemperaturen som i sin tur också inverkar på energiförbrukningen i byggnader (Glaumann & Nord 1993; Sawka et al. 2013).

Genom att använda träd som ett klimatreglerande element i staden kan därför kostnaderna för uppvärmning och kylning av byggnader effektivt reduceras (Akbari et al. 2001; McPherson 1992; Papadakis et al. 2001; Sawka et al. 2013). (Se bild 2) I artikeln av Sawka et al. (2013) nämns en aktuell studie från Toronto i Kanada där det beräknats att skuggan från stadens urbana träd reducerar kostnaderna för kylning av



**Bild 2:** En ansenlig mängd forskning beskriver urbana träd som kostnadseffektiva klimatreglerande element i staden. Malmö, 2013.

byggnader med \$9.7 miljoner årligen. För Toronto är detta en viktig aspekt eftersom samma artikel hävdar att den genomsnittliga lufttemperaturen i staden ökar och att den stigit med 3°C under det senaste århundradet. Nikoofard et al. (2011) beskriver undersökningar som också har utförts i flertalet städer i Kanada. Dessa studier visar att träd i anslutning till byggnader spelar en avgörande roll för den årliga energikonsumtionen för både kylning

och uppvärmning av tvåvåningshus. Vidare menar författarna att dessa gynnsamma ekonomiska effekter uppstår först när träden är strategiskt planerade och placerade i förhållande till bebyggelsen, där hänsyn även tas till trädets storleksförhållande och planteringsavstånd. Sawka et al. (2013) påvisar genom följande citat att trädets placering i staden är av avgörande vikt; *"Ett träd kan planteras strategiskt för att maximera energisparande funktioner, genom att ta hänsyn till de variabler som påverkar dess potential att skugga"* (Sawka et al. 2013 s. 2.). Även McPherson (1992) styrker föregående citat genom att påvisa att trädets förmåga att kunna skugga bebyggelse ger dem ett stort värde i stadsmiljö.

Vid bedömning av plats på vilken ett stadsträd skall placeras läggs sällan vikt vid vart trädets kommer leverera bäst effekt, gällande exempelvis skuggning (Sawka et al. 2013). Eftersom många krafter styr över stadsrummet råder kvantitet ofta över kvalitet och träden får helt enkelt stå där det blir plats över även om det kanske inte alls finns tillräckligt med utrymme för en bra växtbädd eller plats för trädets att utvecklas. Användningen av en sådan utgångspunkt i stadsplanering kan till viss del förenkla och ge en lägre anläggningskostnad, men om inte den optimala användningen av trädets fördelar gällande sol- och värmestrålning utnyttjas, kan det innebära en kostnadsökning i det långa loppet. Är planteringsförhållandena så dåliga att trädets får en hämmad tillväxt vilket leder till dess död så är placeringen en ren ekonomisk förlust. (Thorsson 2012) Yu et al. (2012) menar att det är viktigt att arkitekter, byggnadsingenjörer och stadsplanerare har en god kännedom om de faktorer som påverkar mängden energiförbrukning i byggnader för att de ska kunna utveckla energieffektiva och hållbara städer. Sawka

et al. (2013) och Nikoofard et al. (2011) framhåller att förutom varierande skuggförutsättningar från olika träd, påverkar även omgivningens temperatur, humiditet, byggnadens storlek, skick, konstruktion samt när eller hur byggnaden ska användas.

Konsekvenserna av trädets skuggning kan både ha negativa och positiva effekter för energiförbrukningen (Nikoofard et al. 2011). Fördelar är att avkylningen från luftkonditionering som kan behövas i byggnader under varmare årstider kan begränsas eller till och med uteslutas med hjälp av skuggande träd. Detta på grund av att mängden energi som absorberas och lagras i byggnaden minskar och då även emissionskapaciteten (Nikoofard et al. 2011 & Sawka et al. 2013). På detta sätt reduceras energibehovet för kylningssystem. Negativa effekter kan ses vid att trädets skuggning hindrar ljusinsläpp och kyler huset under vinterhalvåret vid låga utomhustemperaturer då byggnaden hade behövt solens energi för att värmas och få in ljus genom fönstren (Canton et al. 2003; Nikoofard et al. 2011). Värme som absorberas av fasader sprider sig genom konvektion in i väggen tills den når byggnadens innerväggar som i sin tur ger en ökad inomhustemperatur (Papadakis et al. 2001).

Fönster som skuggas av exempelvis ett tätt avlövad grenverk eller ett tätt vintergrönt träd, blockerar den infallande solstrålningen från att ta sig in. Om träd skuggar fönster minskar även tillgången på dagsljus vilket ökar användandet av elektriskt belysning inomhus och som bidrar till ökad energianvändning. (Nikoofard et al. 2011 & Sawka et al. 2013) Då Sverige till stor del ligger på nordliga breddgrader med solen lågt stående vintertid kan skuggande vegetation vara missgynnande när de första strålarna tittar fram på vårkanten. I en sådan situation bör träd med hög ljusgenomsläpplighet eller sent bladutspring användas för att minska behovet av uppvärmning, annars bör träden placeras så att inte skuggorna når fram till byggnaden.

### ***Träds förmåga att utjämna temperaturer***

En faktor som träd och solstrålning reglerar är lufttryck. Förutom de globala effekter på lufttryck som bildas i relation till solstrålning, jordytans material och topografi skapas lokala konsekvenser i staden orsakade av urban vegetation. (Glaumann & Nord 1993) Thorsson (2012) menar att urbana områden med växtlighet har en mycket lägre lufttemperatur en varm sommardag, än de områden som enbart består av hårdgjorda material. Dimoudi och Nikolopoulou (2003) instämmer och förtydligar att vegetationens viktigaste roll i relation med värmeöeffekten inte är att kyla luften utan att förhindra den från att värmas upp. Det är detta som sker när trädet skuggar hårdgjorda material som annars skulle lagrat eller reflekterat värmen från solljuset.

Dimoudi & Nikolopoulou (2003) framhåller evapotranspiration och skuggbildning som två av de viktigaste aspekterna som träd bidrar med vid varma temperaturer. (Se bilaga 1) De urbana träden fungerar som solfångare och skapar ett eget mikroklimat i kronan (Russel et al. 1989). Med hjälp av solens energi ökar stadsträdens bladmassa evapotranspirationen vilket förändrar luftflödet, sänker temperaturen och höjer luftfuktigheten (Glaumann & Nord 1993, Sawka et al. 2013). Dock gäller inte detta i alla situationer eftersom arter som inte är vana med stadsmiljö kan sakna en spärr som varnar om att stänga klyvöppningarna när det blir för varmt. Dessa träd kan därför fortsätta transpirera tills de drabbas av vatten- och torkstress. På grund av dessa egenskaper är det viktigt att välja träd som gynnas av stadsklimatet så att lövverket kan hållas frodigt och levande. Först då kan de optimala läget för träds värdefulla förmåga att sänka värme vid värmeböljor uppfyllas.

De temperaturförändringar som träd skapar beror på lövverkets totala massa. Flera träd i grupp eller som tillsammans skapar ett sammanhållande krontak har därför mer omfattande inverkan på temperaturregleringen i ett område än vad splittrade ytor med träd har. (Russel et al. 1989) Parker har därför en mer vidsträckt förmåga att sänka temperaturen i sin omgivning än vad enstaka träd har. (Ahmed Memon et al. 2008; Yu & Hien 2006). Akbari et al. (2001) benämner denna förekomst som träds indirekta nytta för energiförbrukning i byggnader. Motsatsen är den direkta effekten som skapas när ett träd står placerat i nära anslutning till bebyggelse. Då träd värderas för dess indirekta betydelse betraktas staden som en helhet där stadsträden ger skuggeffekt åt flera ytor som i sin tur reglerar temperaturen i en mer övergripande skala av staden. Detta sammanhängande sätt att se relationen på skapar även en indirekt effekt på varje enskild byggnad. (Akbari et al. 2001)

Akbari et al. (2001) menar även att modeller som beräknar träds effekter på en enskild byggnads energiförbrukning oftast refererar till de direkta förutsättningarna och konsekvenserna, det vill säga att endast ha fokus på de träd som står intill byggnaden. Den indirekta faktorn av temperaturreglering som avgörs av trädgrupper som kan finnas flera kvarter bort beräknas sällan med. I artikeln tas även upp att en av anledningarna till bortfallet av den indirekta värderingen kan vara för att den exakta inverkan på temperatur och energiförbrukning är svåra att beräkna exakta värden på.

## ***Hur habitus och årstid inverkar på den infallande solstrålningen***

I föregående del framhålls att trädens skuggning av bebyggelse har en betydande påverkan på temperatur och energiförbrukning i staden. Skuggan i sin tur varierar stort efter årstid och trädartens habituskaraktär (Hough 2004, Nikoofard et al. 2011 & Sawka et al. 2013).

### ***Årstider***

Den varierande längden skugga som ett träd kastar beror till största del på hur högt solen står över horisonten. Jordaxeln lutar som mest in mot eller bort från jorden två gånger om året vid sommar- respektive vintersolståndet, vilket vid dessa tillfällen ger årets längsta och kortaste dagar. Tidpunkten för dessa tillfällen varierar men i Sverige äger den längsta respektive kortaste dagen rum i regel kring den 21 juni och 21 december. (SMHI 2011)

Under sommarhalvåret är den infallande strålningen från solen i regel lika stor, vilket innebär att skuggan av ett träd blir lika lång i södra som i norra Sverige (Schlyter & Bucht 1977). Vinterhalvåret utgör en större variabel och det är stora skillnader mellan solvinkel och tillgång på dagsljus (SMHI 2013).

Årstidernas förutsättningar för ljus bidrar till en viss komplexitet för det nordiska klimatet eftersom solens strålar och värme är mest svårtillgängliga under den period då vi har störst behov av dem - det vill säga under vinterhalvåret när solen står som lägst (Areskoug, 1999). Eftersom nordligt och sydligt belägna städer har olika förutsättningar som i sin tur

påverkar årstiderna är det viktigt att ta hänsyn till varje områdes geografiska kontext vid stadsplanering och anpassa stadsbyggnaden efter de lokalt rådande klimatförhållandena (Pressman 1995; Schlyter & Bucht 1977). Ur en energieffektiv synvinkel är det därför inte optimalt för Sverige att kopiera byggnadsmetoder och riktlinjer som används för exempelvis stadsbyggnad på sydliga breddgrader (Pressman 1995).

Som tidigare nämnts bidrar förtätning och höga byggnadshöjder till djupare skuggbildningar i stadslandskapet. Skuggorna ökar i samma takt som solvinkeln mot jorden minskar då tiden går mot vintersolstånd. Glaumann och Nord (1993) framhäver att tät bebyggelse kan vara ett problem under vinterhalvåret eftersom byggnaderna skuggar varandra och samtidigt hindrar solens strålar att nå ned till markytan. Av dessa grunder kan en slutsats dras om att passiv energihushållning likväl som tillgången på och ljus och termisk komfort, på låga våningsplan eller marknivå, inte gynnas av förtätning vid de årstider då solen står lågt.

Pressman (1995) gör kopplingen att skugga som orsakas av träd under kalla årstider kan ha en negativ kylningseffekt eftersom det hindrar tillgången till ljus och värme samt is att tina och väta från att torka upp. Vidare förespråkar Pressman att en optimal lösning för det nordiska klimatet kan vara att plantera trädarter som har en större del täckande lövmassa på sommaren, men som under vintern har ett glesare genomsläppligt grenverk i avlövat tillstånd så att solens strålar når igenom. Dyer (2013) är av samma uppfattning och visar på att vissa trädarter, som exempelvis Ginkgo biloba, har en genomsläpplighet på hela 99 % i avlövat tillstånd under vinterhalvåret.

För södra och mellersta Sverige ger lövfällande träd skugga från slutet av maj till mitten av oktober (Schlyter & Bucht 1977). Bilaga 2 visar information om när tiden för bladutspring inträffar för ett urval av olika trädarter studerade i Alnarp, Skåne. Tabellen visar att



det är en stor variation för när tillfället för bladutspring äger rum, och att majoriteten av träd i undersökningen har en sen bladutveckling under maj-juni. (Deak Sjöman et al. 2014) Detta resulterar i att själva lövmassan inte skuggar byggnader under våren när solens strålar behövs för att ge ljusinsläpp i fönster och det fortfarande är kallt utomhus. Under hösten och särskilt under september och oktober då luften blir kallare och fuktigare är det svårare att utnyttja solstrålningen eftersom löven fortfarande sitter kvar på träden. Den lägre solvinkeln på hösten bidrar även till att skuggorna blir mycket längre. (Schlyter & Bucht 1977)

### **Karaktär och habitus**

*"Kvaliteten och kvantiteten av skuggningen avgörs av trädslag och löv, inklusive krontakets volym, kronform, lövperiod, lövstorlek, trädets läge och orientering i förhållande till en byggnad."* (Sawka et al. 2013. s. 2.)

Raeissi och Taheri (1999) menar att det finns tre viktiga aspekter som påverkar vilken skugga ett träd kastar. Det första är trädets geometri, det vill säga dess karaktär med gren- och lövuppgbyggnad. Det andra är solens placering och höjd över horisonten medan det tredje är vinkel och placering av den yta som skuggas. Den skugga som ett träd kastar är därför platsspecifik och utöver latitudens inverkan spelar trädets storlek och karaktär en viktig roll för skuggbildningen (Nikoofard et al. 2011).

Raeissi och Taheri (1999) och Sattler et. al (1987) identifierar trädets habitus efter fyra grundtypsformer vilka kännetecknas som klotformad, konformad och cylinderformad. Däremellan finns även habitustyper som är kombinationer eller varianter av dessa former. Beroende på

typen av habitusform och vinkel till ytan som skuggas så skapas olika förutsättningar för skuggformationer. Schlyter och Bucht (1977) framhäver i första hand trädets storlek och stamhöjd som de viktigaste påverkansfaktorerna gällande skuggning. Hough (2004) understryker lövfällande trädets egenskaper - då arter med liknande habitus på sommaren kan skilja sig mycket från varandra på vintern beroende på kronuppgbyggnad och grentjocklek. Dessa egenskaper skapar även olika förutsättningar för hur skuggan faller och hur täckande den blir. För oss här i norra Europa är ett lövfällande träd med gles grenuppgbyggnad att föredra vintertid, eftersom det ger god genomsläpplighet av solstrålning när behovet för ljus och värme är som störst. (Hough 2004; Papadakis et al. 2001; Raeissi & Taheri 1999; Schlyter & Bucht 1977).

Även en krona som är lövtäckt har förmåga att släppa igenom en viss procent solstrålning i en variant av infrarött ljus som inte kan ses med blotta ögat. Detta skapar en mer dynamisk och genomsläpplig skugga till skillnad från skuggan från en fast byggnadskropp. (Brown & Gillespie 1995) Bladmassans dimensioner påverkar också skuggbildningen. En glesare krona ger glesare skugga än vad en tät krona med stora löv har förmåga att göra, och tvärt om. Variationerna gäller även vintergröna träd. Exempelvis ger *Pinus sylvestris* en gles skugga trots att de flesta andra barrträd i regel ger en tät skugga. Tabellen i Bilaga 3 visar en sammanställning av olika lövträdets ljusgenomsläpplighet vintertid i relation till dess bladmassa sommartid, som delas in efter kategorierna gles, medium, tät eller mycket tät. Tabellen visar inga mönster på att trädkronor med låg genomsläpplighet vintertid har en tät bladmassa sommartid och vice versa. Resultaten visar att träden är unika och att träd med samma procentandel transmissivitet under vintern kan ha stor variation på bladmassan sommartid. Exempelvis har *Fagus sylvatica*, *Carpinus Betulus*, *Acer campestre* 'Elsrijk' och *Salix alba* 'Liempde' samma procentgenomsläpplighet under vintern

(93 %), medan intervallet av deras bladmassa sommartid täcker hela skalan från gles till mycket tät. (Deak Sjöman et al. 2014; Dyer 2013)

De lövfällande träd som ingick i undersökningarna i uppsatsen av Dyer (2013) påvisade att transmissivitet kapaciteten hos de flesta arter och sorter ligger mellan 90 – 95 % ljusgenomsläpplighet. Av de trädarter som var med i undersökningen var den lägsta genomsläppligheten 80 % hos *Quercus petraea* medan den högsta andelen utgjordes av *Ginkgo biloba* med 99 %. Dessa resultat tyder på att träd i avlövat tillstånd har god genomsläpplighet och möjlighet att ge ljus och värme till byggnader även om de står i nära anslutning till dem.

Nikoofard et al. (2011) beskriver flera faktorer som påverkar skuggningens efterföljder för byggnaders energiförbrukning. Förutom att olika arter skiljer sig åt vad gäller bladmassa så varierar även formspråket och habitus inom en och samma art beroende på ålder på trädet. På så sätt har ett träd olika karaktär från att det planteras tills det når sin topphöjd. Under utvecklingsfasen kan både höjd och bredd variera stort vilket i sin tur påverkar skuggbildningen. Även Hough (2004) menar att trädets ålder är en påfallande faktor för hur mycket solstrålning som ett träd kan släppa igenom. Ett träd som nått till åldern för sin maximala storlek, som har haft förutsättningarna att utveckla sig arttypiskt och inte är kraftigt beskuret har i regel ett mer utbrett lövverk än ett ungt träd, vilket således leder till en större skuggeffekt. (Se bild 4)

För att öka skuggeffekten från träd kan exempelvis stora exemplar kombineras i grupper eller bestånd med mindre träd, buskar och markvegetation eftersom en större

bladvolym i olika lager ökar skuggans kyleffekt (Thorsson 2012). Ett påtagligt problem som återfinns i bland annat nybyggda områden och i nyanlagda parkeringsytor är att träden som planteras är relativt unga. Även om dessa träd har god tillväxt kommer det ändå dröja 10-15 år innan träden har växt upp så pass mycket att de kan ge den skugga som de förväntas göra. (Schlyter & Bucht 1977). I dagens hårdgjorda städer är toleransen för succession låg men Hough (2004), Schlyter och Bucht (1977) ser en fördel med att välja träd av större storlek vid nyplanteringar eftersom det ger bättre förutsättningar för att reglera solstrålning direkt efter planteringstillfället.



**Bild 4:** Träd bör definieras tydligare som det dynamiska byggnadselement det faktiskt är. Trädens karaktär (och skugga) skiljer sig åt beroende på art, sort, skick, ålder och årstid.

Till vänster: Pinus nigra, Lund 2014.

Till höger: Ginkgo biloba, Stockholm 2013.

## **Träds kapacitet att påverka solstrålning efter väderstreck**

Nikoofard et al. (2011) understryker trädets förmåga att påverka solstrålning beroende på vilket väderstreck de är planterade i samt avstånd till intilliggande bebyggelse. Nikoofard et al. (2011) och Sawka et al. (2013) redovisar undersökningar av trädets förmåga att ge skugga i ett antal Kanadensiska städer genom 3D-simuleringar. Resultaten visar att träd har betydande inverkan på energiförbrukning i bostadshus beroende på vilket väderstreck de är placerade i förhållande till byggnaden. Då solen rör sig under dagen skapas därför olika förutsättningar för skugga.

### **Öster**

Träd som står placerade öster om en byggnad kastar skugga under morgontimmarna. Vid denna tidpunkt finns det oftast inget behov för kylning av ett bostadshus eftersom solen inte varit uppe så länge. (Sawka et al. 2013) Träd i öster som har en gles krona eller en hög ljusgenomsläpplighet vintertid kan släppa igenom behagligt solljus på morgonen. Har trädet låg ljusgenomsläpplighet, ges motsatt effekt. I Nikoofard et al. (2011) undersökning visade sig träd placerade i öster ha näst bäst reduceringsresultat för kylning under varmare temperaturer under ett dygn. 3D-simuleringen i artikeln visade att energiförbrukningen minskade mellan 7,5-10 % i de städer som var med i undersökningen.

### **Söder**

Träd som står söder om en byggnad heta sommare dagar ger en positiv skuggeffekt eftersom de skuggar fasader och markmaterial som annars har förmåga att lagra mycket värme, vilket bidrar till ökade lufttemperaturer vid emittering. När solen står högt på himlen kan trädets skugga bli mycket kort och hamna direkt under trädet. (Se bild 5) Beroende på avståndsplacering och storlek på trädet når dess skugga inte alltid fram till byggnaden. Detta innebär ett dilemma eftersom skuggan är mest åtråvärd under dagen då det är som varmast och skuggan blir som kortast. En optimal lösning är att träd står placerade nära bebyggelsen så att dess skugga bidrar till reducering av ljusinsläpp genom fönsterna eftersom temperaturer kan transporteras genom glaset. (Sawka et al. 2013) Här kan även ett dilemma uppstå eftersom träd som skymmer utsikt eller begränsar dagsljuset ofta är oönskat av människan. Därför spelar val av trädkaraktär, habitusform och transmissivitet egenskaper åter igen en viktig roll vid placering av träd framför fasader.



**Bild 5:** Vid de tillfällen då solvinkeln mot jorden är stor koncentreras trädets skugga nära intill trädet.

Den positiva effekt som främjas av att ha träd stående nära fasader i söderläge under sommaren har inte lika många fördelar vintertid. Att placera arter med låg ljusgenomsläpplighet vintertid, som exempelvis täta barrträd eller avlövnade träd med ett massivt grenverk i söderläge framför en byggnad skapar en negativ effekt,

och då särskilt gällande ökad energiförbrukning. Nikoofard et al. (2011), Pressman (1995) och Sawka et al. (2013) menar att de negativa effekterna kommer från att trädet kastar längre skuggor vintertid men framförallt för att det är under den kalla vinterperioden som vi är i störst behov av uppvärmning, en resurs som kan gynnas från värmen av den svaga vintersolen. Nikoofard et al. (2011) beskriver i sin undersökning att den årliga uppvärmningen av en bostad i Kanada ökar mellan 1.3-2 % då ett träd står placerat i söderläge på fem meters avstånd från byggnaden under vinterhalvåret. En översikt av de Kanadensiska städernas latituder i undersökningen, identifieras den nordligast belägna staden, Calgary, som den med störst energiförlust från det skuggande trädet i söder. Toronto, den längst i söder belägna staden hade minst andel ökning av byggnadens årliga energiförbrukning. En grov slutsats kan dras om att den påverkande faktorn till värdena är den infallande solvinkeln eftersom den minskar längre norrut så att skuggorna växer och blir längre. Men även temperatur, lokal klimat och andra faktorer kan också ha en betydande inverkan på resultatet.

När träd ska planteras söder om en byggnad är det, på grund av argumenten ovan, viktigt att känna till de dilemman som uppstår sommar och vintertid för att kunna uppnå så effektiva lösningar som möjligt. Med fördel kan därför trädarternas unika karaktärer utnyttjas, och i ett söderläge är det därför positivt att använda sig av arter som ger en tät skuggande bladmassa på sommaren men ett skirt ljusgenomsläppligt grenverk vintertid. Fördelaktiga trädförslag för detta ändamål är exempelvis *Acer platanoides*, *Fraxinus americana* 'Zundert' eller *Corylus colurna*, som samtliga har tät bladmassa men som ger 94 % ljusgenomsläpplighet vintertid. Dessa och flera andra arters värden redovisas i Bilaga 3.

### **Väster**

Träd som står väster om en byggnad kastar långa skuggor under eftermiddagen då solen är på väg att gå ned. I Sawka et al. (2013) studie var energiförbrukningen hög på eftermiddagen i de bostadshus som använder sig av kylningssystem, bevisligen för att det är då flest människor kommer hem från jobbet och känner behov av att kyla sina hus. I denna situation spelar de omgivande trädens placering en viktig roll och skuggan från träd planterade i västerläge har stor förmåga att skänka skugga åt överhettade byggnader vilket i sin tur inverkar på en behagligare temperatur på inomhusklimatet. (Sawka et al. 2013) Stora träd vars skugga täcker hustak helt eller delvis är ett effektivt sätt att kyla byggnader och reducera energiförbrukningen (Thorsson 2012) Även sydvästligt planterade träd har en stor inverkan för kylningsbehovet under eftermiddagen, eftersom sydvästligt belägna träd skyddar bostaden från hög uppvärmning under dagen och som annars lagras i byggnaden långt in på eftermiddagen och kvällen.

### **Norr**

Träd som står placerade norr om en byggnad kommer inte kunna skapa skugga som påverkar kylningen eller uppvärmningen av just den specifika byggnaden som mätningarna görs på. (Sawka et al. 2013). Ett träd i norrläge gör sig inte rättvist simulerat i en 3D modellering som bara avser en enda byggnad. Om staden betraktas som en helhet, vilket den givetvis bör göras, så får en 3D simulering av ett sådant slag ett mer reellt resultat eftersom det har betydelse för beskuggningen av närliggande tomter och byggnader. Träd har inte en punktvis betydelse för temperaturhöjningar och sänkningar i staden utan har en omfattande påverkan på sin närmiljö som utökas ju större andel yta som är vegetationsbeklädd. (Akbari et al. 2001; Pressman 1995; Sawka et al. 2013)



Lagstöd och metoder för strategisk  
planering av vegetation i Sverige



(Malmö, 2013)



## Lagstöd och metoder för strategisk planering av vegetation i Sverige

Nedan följer en sammanställning med exempel på de lagstöd och program som idag finns i Sverige för grönplanering och hållbart stadsbyggande i urbana områden. Sammanställningen syftar till att lyfta fram hur yrkesverksamma inom hållbar stadsutveckling kan finna stöd och vägledning till att integrera urban grönska i staden, men även hur grönstrukturen uppmärksammas eller inte för temperaturreglerande egenskaper i stadslandskapet.

EU ställer bland annat krav på att varje land ska minska sin energianvändning via Energieffektivitetsdirektiv och Ecodesign-direktiv som uppmanar till lägre energikonsumtion i befintliga byggnader och i nybyggnationer. Enligt Naturskyddsföreningen är den energi som går åt till att kyla svenska byggnader ett resursslöseri eftersom det finns byggnadsmetoder som kan lösa detta. (Nordman et. al 2010) Boverket (2010) menar att många kommuner saknar kommunala planeringsunderlag som hanterar frågor kopplade till klimatförändringarna och att det behövs tydliga anpassningsplaner att applicera på befintlig och framtida bebyggelse. Världsnaturfonden (2013) trycker på att stadens grönstruktur behöver värnas om och att samtliga situationer där det finns möjlighet för utveckling av exempelvis ekosystemtjänster bör nyttjas. De menar att beslutsfattare, särskilt regeringen spelar en viktig roll för att uppmuntra och underlätta för att bevara, uppehålla, återställa och nyskapa urban vegetation. För att möjliggöra en sådan planering krävs ett översiktligt perspektiv som tar ett helhetsgrepp och väver

in stadens olika funktioner, såsom bostäder, verksamheter, gatunät och att framförallt låta grönskan vara en aktivt integrerad del av befolkningens vardag.

### *Plan och bygglagen*

I Boverkets rapport (2010) förklaras att justeringar av stadsutveckling hanteras på flera planeringsnivåer. I rapporten framhävs översiktsplanen som ett viktigt verktyg på grund av dess helhetsgrepp över hela kommunområdets användning och funktion. Plan- och bygglagen (PBL) kräver att varje kommun ska ha en uppdaterad översiktsplan som tydligt beskriver hur bebyggelse, mark och vattenområden bör bevaras, utvecklas och användas. PBL hänvisar även till att projekt som påverkar miljön ansenligt ska ha en tillhörande miljökonsekvensbeskrivning. (Dahl et al. 2003) En tydlig vision i Översiktsplanen om hur arbetet för en klimatanvänligare stad ska gå tillväga kan bidra till att i ett tidigt stadium förebygga och ge rekommendationer om utvecklingen av befintlig och framtida bebyggelse och andra strategiska lösningar. Av dessa anledningar är översiktsplanen en tillgång för planering av temperaturer i staden. (Boverket 2010)

Översiktsplanen kan även ge möjlighet till en mer detaljerad nivå, det vill säga en fördjupning av översiktsplanen. PBL förespråkar även detaljplaner som är juridiskt bundna handlingar och som avgör vad som får lov att göras inom en områdesgräns, exempelvis vart det skall vara parkmark respektive bebyggelse samt även bestämmelse av byggnadshöjder och liknande. Även bygglov är ett reglerande beslut som bestämmer hur och vart nybyggnader och påbyggnader får göras i relation med befintlig bebyggelse. (Dahl et al. 2003)

## **Miljöbalken**

Miljöbalken är ett betydelsefullt verktyg för att skapa och upprätthålla hållbar utveckling. Dess nio allmänna hänsynsregler i Miljöbalkens kapitel tre och fyra om miljökrav (Se bilaga 4), ska efterlevas av alla inblandade parter i fysisk planläggning, inklusive kommuner. (Dahl et al. 2003) Av reglerna kan utläsas att Miljöbanken i hållbara stadsbyggnadssituationer bland annat kräver att alla parter har god kännedom om de bäst lämpade tekniska lösningarna, eventuella påverkansfaktorer på miljön, konsekvenser samt ser till att energianvändningen effektiviseras.

## **i-Tree**

Via i-Tree verktyget kan träd värderas efter dess ekonomiska fördelar från det enskilda trädets till större skogsbestånd (i-Tree 2014; Movium 2009). Programmet utvecklades av USDA Forest Service år 2006, och är etablerat i USA men fler och fler länder känner till och har börjat använda sig av dess metoder. Än så länge är inte arbetsmetoden starkt etablerat i Sverige och för att det ska passa svenska förhållanden behövs anpassning efter våra riktlinjer samt geografiska förhållanden men framförallt genom att införa Svenska träd databaser i programmet. Flera städer i Sverige arbetar för att samla in sådan information, bland annat Malmö Stad har redan upprättat en träd databas. (Movium 2009) Av i-Trees analyseringsfunktioner visar tabellen på Bilaga 5 de verktyg och metoder som är relevanta för stadsträds användning.

I-Tree är unikt på det sätt att de bland annat har med arter och årstider i bedömningarna vilket är mer detaljerat än övriga

program och lagstöd. Det förmedlar även effektiva ekosystemtjänster som träd ger på lokalnivå vilket länkar samman urban trädvård, miljökvalitet och stadslivet. Bilaga 6 visar verktygets olika analyseringsfunktioner som är indelade efter ett antal kategorier. I-Tree har ett brett användningsområde och är till stor nytta för kommuner, konsulenter och organisationer för att ta fram data från en bred skala. Informationen är ett effektivt och relevant underlag vid beslutsfattande gällande markanvändning och utveckling av områden. (i-Tree 2014) Verktyget är även ett bra hjälpmedel för att definiera och stärka skötseln av de urbana trädbestånden. Data som ger en tydlig informationsbild av trädens betydelse i staden underlättar kommunikation om hur utveckling bör ske i äldre eller nyetablerade områden eftersom det går att ställa olika framtidsscenarion mot varandra och jämföra de efterföljande konsekvenserna. (Movium 2009)

## **BREEAM**

Det brittiska miljöcertifieringssystemet BREEAM bedömer bebyggelsens påfrestning på miljön inom områdena projektledning, energianvändning, inomhusklimat, markanvändning, påverkan på närmiljön, byggmaterial, vattenhushållning, avfallshantering, föroreningar samt tillgång till kollektivtrafik. Sedan systemet lanserades i Storbritannien år 1990 är BREEAM ett av världens största internationella miljöcertifieringssystemet för bebyggelse i Europa. Sverige har sedan 2013 använt sig av en omarbetad version, BREEAM-SE, som är anpassad efter svenska sociala-, kulturella- och lokala klimatförhållanden samt svenska lagstiftningar, standarder och arbetssätt men är jämförbar med internationella förhållanden. (Heincke et. al 2012; SGBC 2014a)

Certifieringen har olika mål som kan uppnås, Pass, Good, Very Good, Excellent och Outstanding. För planerare och arkitekter är dessa steg ett effektivt sätt för att på ett smidigare sätt kunna uppnå miljömål och utveckla en hållbarare stad. (BREEAM 2014) För att uppnå certifiering och graderingsmålen krävs att projektet uppfyller ett bestämt antal poäng på samtliga bedömningspunkter indelade efter tio kategorier, och som redovisas i bilaga 5. Flera av punkterna inom kategorierna relaterar både direkt och indirekt till stadsträd och konsekvenserna av träds inverkan på solstrålning mot bebyggelse. Särskilt berörande punkter är dagsljus, belysning, energieffektiva byggnadssystem samt val av plats. Bedömningen om vilken certifiering byggnaden tilldelas görs slutligen efter att projektet är färdigställt och den sammanlagda poängen från bedömningspunkterna sammanställs. (Heincke et. al 2012).

### **LEED**

Leadership in Energy and Environmental Design, LEED, är ett Amerikanskt miljöcertifieringssystem som togs fram år 1999 men som idag är vanligt förekommande i många länder världen över (SGBC 2014b). Sverige har än så länge inte tagit fram ett klassningssystem som är omarbetat särskilt efter svensk lagstiftning, så i dagsläget görs certifieringsprocessen via U.S. Green Building Council, med undantag för vissa lokala anpassningar. På så sätt är det Amerikansk standard som efterföljs. (Heincke et. al 2012) För att tilldelas LEED-certifiering krävs, liknade BREEAM, att ett bestämt antal kriterier uppfylls som ger projektet poäng som sedan resulterar i fyra olika graderingar; Certifierad, Silver, Guld

eller Platinum. (Heincke et. al 2012; SGBC 2014b; USGBC 2014) Certifieringen bedöms utefter områdena energianvändning, inomhusklimat, material, vattenanvändning och närmiljö. Bonuspoäng för innovativa lösningar kan även erfaras. Systemet kan användas för olika typer av bebyggelse, både för bedömning av fristående byggnader såväl som hela stadsdelar. Både befintlig, nybyggnad eller ombyggnad av bebyggelse. (SGBC 2014b) Den del inom LEED som certifierar stadsdelar och hela samhällen är Green Neighborhood Development. (USGBC 2014)

### **Grönytefaktor**

En del kommuner i Sverige har antagit olika modeller för att underlätta arbetet med hur grönska ska bevaras, utvecklas och ersättas i staden. En av dessa är grönytefaktor vars metod går ut på att reglera minsta mängd vegetation vid nyexploatering eller förtätning. (Dahl et al. 2003) Ett områdes grönytefaktor räknas ut genom att dela områdets eko-effektiva yta med områdets totala yta. Den eko-effektiva ytan består av vegetation som har positiva effekter för ekosystem, lokalt klimat eller hälsa. Olika förutsättningar för grönskan ger olika hög värdering som vägs samman med arean för respektive grönyta och som sedan delas med den totala områdesytan. Resultatet blir områdets genomsnittliga fördelning mellan grönt och hårdgjort. (Se bild 6) Kommunen väljer själv vilket krav på grönytefaktor som eftersträvas. I nya exploateringsprojekt i Malmö och Stockholm ligger kraven i regel på 0,6 för bostadsgårdar, 0,45 för blandad bebyggelse och 0,3 för handel och kontor. (Wikberger et al. 2010)

GRÖNYTEFAKTOR

$$\frac{\text{eko-effektiv yta (mängden grön yta)}}{\text{områdets totala yta}} = \text{områdets genomsnittliga fördelning mellan grönt och hårdgjort}$$

**Bild 6:** Formeln för att beräkna Grönytefaktorn (Wikberger et al. 2010).

Även om grönytefaktorn återställer och inför nya grönaelement i staden, finns det ingen nämnvärd reglering som styr vilken typ av gröna element som behövs. Eftersom det heller inte kontrolleras om anläggningen håller samma kvalitet efter ett antal år är det svårt att veta om den verkligen når upp till sin kvot och är hållbar i det långa loppet. Till skillnad från andra certifieringssystem som exempelvis BREEAM och LEED ställs det inga särskilda krav på långsiktig uppföljning.

### ***Balanseringsprincipen***

Ytterligare en arbetsmetod för grönmiljö är balanseringsprincipen som värdesätter förlorad vegetation och negativa effekter på landskapet. Från värderingen kan de gröna kvaliteterna kompenseras och uppnå samma nivå som platsen hade innan. Exempelvis kräver exploatering på jordbruksmark med stora biologiska värden mer kompensation än exploateringen av en mindre artrik industritomt. Metoden är utvecklad i Tyskland och är under utveckling i Sverige där den framförallt testats i städerna vid Öresundsområdet. (Dahl et al. 2003) I Stockholms stad har

det gjorts flertalet försök där balansering efter värderingarna klimatanpassning, sociala värden och biologisk mångfald eftersträvas. (Wikberger et al. 2010)



## Diskussion



(Lund, 2013)



## Diskussion

### *Metod och tillvägagångssätt*

Från början av arbetet fanns ytterligare en del med i uppsatsen. Denna del var menad att illustrera ett antal olika trädarter och hur dess skugga kastades på olika typer av bebyggelse. Både i lövat och avlövad tillstånd. Trots att en stor del studietid lades ned på illustrationerna togs de bort i slutskedet av uppsatsen. Detta på grund av att skalan som de var gjorda i var för övergripande och svårsläslig. Uppsatsen gjorde även ett försök till att väva in en bredare geografisk kontext som också togs bort eftersom det inte fanns tillräckligt med stöd från litteraturen. Efter att dessa stycken tagits bort fick uppsatsen en mer tydlig kärnpunkt.

Checklistan med lättillgänglig information blev ett bra avslut då den avrundar och knyter ihop uppsatsen. Jag upplever den som ett effektivt verktyg för den som bara vill ögna igenom uppsatsen men ändå vill få ut mycket information.

Vad som snabbt framkom under litteraturundersökningen var bristen på källor som stämde exakt överens med uppsatsens frågeställningar. Det fanns mycket information att tillgå men upplevelsen var att informationen skulle behöva konkretiseras och framförallt samlas under ett och samma tak. I dagsläget är källorna utspridda bland olika yrkesområden och kategorier som exempelvis miljöfysik, energiteknik, miljöstrategier, vegetationsegenskaper eller klimatdata vilket tar lång tid att gå igenom och där bara en bråkdel av informationen kan användas för att få fram ett sammanställt resultat. Därför fick en stor mängd källor granskas och i flera fall var endast en liten specifik del av informationen relevant

för uppsatsen. Anledningen till detta kan bero på flera orsaker, som exempelvis att träd är ett komplex byggnadsmaterial eller att dess koppling till klimatförändringar är ett brett ämne med många inverkande faktorer.

En majoritet av den tillgängliga litteratur som relaterar till träds påverkan av solstrålning mot bebyggelse är skriven med utgångspunkt från ett sydligare klimat än Sverige. Anledningen kan vara att dessa städer kan nå extrema värmetemperaturer som tär hårt på människor, växter och djur, samt att användningen av temperaturreglerande system i varmare klimat kan innebära en stor ekonomisk kostnad, särskilt för fattiga människor. Människor som bor i dåligt klimatanpassade byggnader och som inte har råd att använda kylningssystemen i den utsträckning som de behöver kan orsaka förödande konsekvenser för deras hälsotillstånd. En sådan situation kan bli riktigt allvarlig för människor som redan tillhör riskgruppen med nedsatt hälsa. Exempel som dessa togs ofta upp på lektionstid under min tid som utbytesstudent i Australien. I länder där värmen innebär ett allvarligt problem sker troligtvis en ökad mediarapportering och forskning med tillhörande forskningsartiklar för att uppmärksamma problemet. Detta kan vara ett av förklaringarna av att litteraturen om träds temperaturreglerande egenskaper ofta har sin utgångspunkt i varmare länder.

### *Svar på frågeställningarna*

De frågeställningar som presenterades i början av uppsatsen har varit till stor hjälp för att driva uppsatsen framåt. I efterhand märktes att den sista frågeställningen, om hur stadsträd kan få en högre prioritet ur planerings synpunkt, var den fråga som fick störst utrymme i diskussionen. Anledningen är antagligen för att uppsatsens slutsatser visade att det finns en uppsjö av möjligheter för stadsträd som inte utnyttjas till fullo. Jag ville därför framhäva dessa argument extra

mycket och det känns som att de andra frågeställningarna ger en stadig grund åt argumenten och att de konkretiseras i den sista frågeställningen.

Nedan följer titel på frågeställningarna, en kort sammanfattning av svaret och efter det följer fri diskussion.

- ***Vad har träds transmissivitet egenskaper för betydelse för solstrålning mot bebyggelse?***

**Svar:** Träd bidrar till en dynamisk transmissivitet med ett flertal överlappande skuggbilder som varierar över årets årstider. Transmissiviteten kan regleras beroende på art och vart trädbeståndet placeras i förhållande till byggnader eller stadslandskap. Skuggan är alltså flexibel med hänsyn till närliggande byggnader och platser och detta kan i sin tur skapa bättre förutsättningar för lägre energiförbrukning i byggnader, ökad termisk komfort både inom- och utomhus samt reducering av värmeöeffekten.

Träd och dess egenskaper för transmissivitet är en stor tillgång för stadsplanering i Sverige. Även om det finns flera olika typer av gröna element i staden, såsom öppna vegetationsytor, buskplanteringar, rabatter, klängväxter, gröna tak eller väggar, så ger träd mest effekt i jämförelse. När staden är tät och byggnadshöjderna höga blir trädens vertikala volym en fördel och dess fleråriga tredimensionella struktur av olika lövfällande, städsegröna eller vintergröna egenskaper samt varierande storlek, stamtjocklek, löv- och grenverk gör helt enkelt träd till en föregångare framför övrig urban grönska. Den varierande transmissivitet som träd bidrar till, det vill säga ett rörligt skuggspel som varierar över olika tid

på året, skapar unika användningsområden. Då exempelvis byggnader ger en fullkomligt kompakt skugga kan trädens transmissivitet regleras via artval beroende på hur god ljusgenomsläpplighet kronan har vintertid respektive sommartid. Även trädets dimensioner, som höjd, djup och bredd likväl som trädets placering i relation till närliggande bebyggelse reglerar skuggbildningen.

Under sommaren erbjuder trädens skugga många fördelar. Både i den bemärkelse att träd med genomsläpplig krona ger ljus, värme och utsikt åt fönster och uteserveringar men framförallt att trädens skugga kyler stadens hårdgjorda ytor som annars tenderar att lagra mycket värme. Så länge det finns ett lokalt utsläpp av fordonsavgaser i staden i samband med värmeöeffekten kommer temperaturmönsterna att förändras och förskjutas i staden. Här spelar träden en viktig roll. Det kan verka som att en mindre temperaturförändring inte berör Sveriges befolkning men så är inte fallet och konsekvenserna blir allt mer uppmärksammade i hälsorapporter, media och samhällsdebatter.

Studier gjorda i Stockholmsområdet visade att dödsfall statistiskt sett ökar både vid extremt varma och kalla temperaturer i jämförelse med normaltemperaturer (FHI 2010). Undersökningarna visade även att människor i kallare klimat, som exempelvis i Sverige, är känsligare för varmare temperaturer eftersom vi inte är vana med den typen av klimat. Så även om Sveriges extremtemperaturer inte slår lika högt som exempelvis i södra Europa så får det ändå effekter för samhället. I denna debatt utgör därför stadsträd en viktig komponent i stadsväven och ger starka argument till varför träd förtjänar sitt utrymme i staden på grund av dess temperaturreglerande förmåga. En öppen yta som alstrar mycket värme sommartid kan med fördel skuggas av ett träd med låg transmissivitet sommartid. Det är viktigt att se över ytans

användningsområden i praktiken eftersom det annars kan vara oönskat ifall arten ger en tätare skuggeffekt än vad som efterfrågas för platsens ändamål.

Med rätt art placerat på rätt plats kan dess transparenta egenskaper komma till full användning vilket kan minska den urbana värmeöen och spara energiresurser från temperaturreglerande apparatur i byggnader. Den ökning som sker på marknaden av kylningsanordningar, som exempelvis luftkonditionering, och som orsakas av en stor andel värmande elektronik eller behov av behagligt inomhusklimat driver upp energiförbrukningen. En lokal med glasfasad som vetter mot söderläge slukar en stor mängd energi och här kommer trädens transmissions egenskaper till god användning för att få ned kostnader och energiförbrukning.

- ***Hur skiljer sig effekterna av trädval och placering åt ur ett hållbarhetsperspektiv?***

**Svar:** *Träds dimensioner, karaktär på habitus och transparenta egenskaper påverkar vart träd lämpligast kan placeras i staden ur ett hållbart perspektiv, eftersom dessa egenskaper avgör hur och vad skuggbildningen träffar. Även egenskaperna gällande bladutspring och lövfällning är viktiga påverkansfaktorer.*

Trädens karaktär är en av ovan nämnda aspekter som inverkar stort på valet av placering. Utmed gator och trafikleder där träden sträcker sig över vägbanorna finns riktlinjer som bestämmer lägsta höjden på grenverket. En gata omgiven av byggnader och träd av högstammig karaktär skapar möjligheter för en lågt stående sol att nå in under kronorna

för att ge ljus och värme till gångvägar och lägre våningsplan under vinterhalvåret. Men givetvis är det alltid viktigt att se varje plats för sig eftersom omgivande byggnader kan påverka skuggresultatet. Smala pelarformade arter är mycket användbara i smala utrymmen där inga andra trädkronor får plats. Pelarträd skapar även unika fördelar eftersom de ger skugga ända ned till marken. Smala träd har även en rörligare skugga vilket gör den mer flexibel för användningsområden i staden, och även under årstider då solen står lägre över horisonten, eftersom det tar kortare tid för skuggan att flytta sig om den skymmer utsikt.

Även trädval baserat efter dess bladutspring och lövfällning är viktiga hänsynspunkter för att göra medvetna val vid placering av träd i stadsmiljö. Brett generaliserat ger lövträden i södra och mellersta Sverige en tätare skugga från slutet av maj till mitten av oktober. I norra Sverige gäller motsvarande period i början av juni till en bit in på början av september. Detta tyder på att den attraktiva värmande vårsolen i Sverige inte är hotad av kronan, eftersom strålarna tar sig igenom (förutsatt att träden inte har ett allt för tätt grenverk).

Trädens livscykel kan ibland komplicera placeringen eftersom det sker en stor transformation av trädet från att det planteras fram till att det blir ett fullt uppvuxet träd. Därför kan det hända att det ultimata önskvärda skuggförhållandet endast sker under en viss del av trädets livscykel. Förslagsvis måste därför succession bli ett vanligare inslag i stadsmiljön, vilket det definitivt råder brist på i den hårdgjorda miljön. Dels för att täcka de behov som byggnader har på skugga och sol men en intressant parentes är de stora reaktioner från invånarna som kan orsakas från att träd dör bort och endast kvarlämnar en kal plats. Särskilt på platser med kulturhistoriska träd

kan förståelsen för trädens livcykel vara svår att ta till sig men då är det särskilt viktigt att se över platsens framtida utveckling och tillföra succession.

Med tanke på att träd ger olika skuggförhållanden beroenden på ålder, är en intressant aspekt att fundera på hur gammalt ett träd får lov att bli i staden. Om en trädart väljs ut på grund av att den vid 50 års ålder ger en bred och tät skugga innebär detta val flera dilemman. Dels för att det kommer ta 50 år innan resultatet uppnås och dels för att det krävs optimala växtförhållanden för trädet att må bra och leva så länge. Om det är i en hårdgjord miljö som trädet förväntas stå 50 år i så är situationen mycket tveksam. I Sverige har vi använt oss av skelettjordar under så pass kort tid att vi inte vet om det är möjligt för träd att överleva så länge i den hårdgjorda miljön. De äldre träd vi ser i städerna idag stod där innan asfalten rullades ut över rötterna, och då hade de redan nått så pass bra växtkapacitet för att klara de nya påfrestningarna. Självklart förbättras teknikerna för växtbäddar löpande, men staden erbjuder en mycket tuff miljö med torka, syre-, näringsbrist, vägsalt och extrema temperaturer vilket tär på träden och gör dem mer mottagliga för sjukdomar.

Ytterligare en aspekt att träd aldrig når full ålder är för att de placeras på platser där det för dem arttypiskt är för lite utrymme ovan och under jord. Allt för ofta ses unga plantor av stora trädarter planterade på små bostadsgårdar eller för nära fasader. När de växer in i fasaden ett par decennier senare blir de omöjliga att behålla. I andra fall är växtbädden underdimensionerad så att träden inte har tillgång till syre och vatten. Arter med starkt expanderande rotsystem kan då bryta

upp markbeläggningen och blir således ett problem i stadsmiljön.

- ***Hur kan träd i staden få en högre prioritet ur stadsplaneringssynpunkt?***

**Svar:** *För att träd ska få en högre prioritet krävs en ökad kunskap och förståelse för de positiva fördelar som träd erbjuder stadsmiljön, både ekologiskt och ekonomiskt. Miljöcertifieringsverktyg kan bidra med arbetsmetoder och mål som fastställer trädens värden. Med ett interdisciplinärt samarbete över flera professionsgränser, med tydliga ramar, långsiktig planering samt valet av rätt träd på rätt plats, blir träd ett överlägset byggnadsmaterial i staden.*

Det finns många anledningar till varför träd förbises i staden. Bland annat på grund av den ständigt ökande urbaniseringen. Människor behöver någonstans att bo och städer omgivna av värdefull mark som exempelvis odlingsmark, kan ibland arbeta efter en policy som inte tillåter staden att expandera utåt utan främst inåt via förtätning. Även städer som har stora glapp i stadsväven arbetar mycket med att binda samman bebyggelsen på olika sätt. Det är många fördelar att placera byggnader tätt men i samma situation går det inte att undvika att den hårdgjorda massan ökar och kan lagra mer värme vilket driver på värmeöffekten. Därför är det viktigt att inse att träden och grönstrukturen borde öka i samma takt som bebyggelsen så att de kan väga upp mot de hårdgjorda materialen.

I en tätare stad tvingas byggnader, infrastruktur och andra funktioner konkurrera med träd och övriga grönytor om utrymmet både ovan och under jord. Ofta får trädet ge vika för starka krafter under jord, som vatten och avloppsledningar, tele och bredband. Eller till

exempel cykelbanor, parkeringsplatser och svängradier ovan jord. Dessa företeelser tar ofta utrymme från växtbäddarna som får en sämre kvalitet vilket leder till att träden får skador, hämmad utveckling eller att de dör. Att gräva ned ledningar i marken är ett smidigt sätt att undvika skador på dem vid stormar och liknande, men om en ledning i marken går sönder måste jorden öppnas upp vilket kan orsaka skador och uttorkning på närliggande trädrötter. Om ledningar tas ur bruk finns inga resurser till att gräva upp dem vilket leder till att de kan förhindra framtida trädplanteringar på platsen.

I många fall orsakas missförstånden i staden av att fel träd planterats på fel plats. Att plantera träd på ”den plats som blir över” kan verka smidigt och billigt för stunden trots att trädet kanske hade gett fler kostnadsmässiga fördelar över en längre period om det stått på en annan plats. Särskilt om trädet hade placerats så att det kunnat reducera kostnader för temperatur reglerandesystem i byggnader. Därför är det viktigt att se långsiktigt i situationer gällande trädplanteringar i stadsmiljö.

Det är på grund av argumenten ovan som uppsatsen tar upp viktiga aspekter angående trädarters egenskaper; för att förstå att träd inte är ett runt klot på en pinne utan ett värdefullt byggnadselement som förtjänar hög prioritet. Det är först när vi börjar använda en biologisk och teknisk kunskap, (det vill säga kunskap om arternas strategier för platsspecifika förhållanden, tillräckliga växtbäddar, kontinuerlig etableringsskötsel och förvaltning) och får in detta tänk i design och planeringsstadiet, som vi fullt ut kan skapa växtplatser där träden kan utnyttjas till sin fulla potential vare sig det gäller ekosystemtjänster eller sociala värden. Träd som mår bra är en grundförutsättning för ett stabil grönstruktur i staden.

Trots en hård konkurrens om stadens yta mellan hårdgjorda material och grönska ser Thorsson (2012 s. 30) en stor potential till trädanvändning på särskilda platser; ”..öka mängden vegetation utmed trafikleder (gator, cykelvägar, järnvägslinjer etc.), på kommunal och statlig mark (parker, torg, skolgårdar etc.), på privat mark (bostäder, kommersiell och industriell mark) och på tak och fasader.” Värt att reflektera över är att vegetation på tak och vertikala växtväggar har samma effekt som träd. Det vill säga att arternas transmissivitet påverkar hur mycket solljus som når fasaden, vilket värmer upp byggnaden vid lägre temperaturer samt hur mycket skugga arterna kan ge huset under varmare temperaturer. Därför kan exempelvis en lövfällande klätterväxt med glesa skira grenar intill en fasad spara mer energi för uppvärmningen av en byggnad under vårkanten än vad en levande vägg kan eftersom växtmaterialet och upphängningskonstruktionen blockerar värmen från att ta sig in.

Ytterligare en anledning till att träd inte får den höga prioritet i stadsrummet som det förtjänar kan vara att träd ofta utsätts för generalisering i litteraturen. I vissa avseenden var litteraturen inför detta examensarbete en aning selektiv eftersom den tydligt beskrev trädets värden i staden med exakta procentandelar, samtidigt som den var sämre på att redovisa vilka arter som var bäst lämpade för att åstadkomma de optimala värdena. Detta märktes tydligt i källorna som byggde på någon typ av 3D-simulering där det saknades en hög detaljnivå gällande trädens karaktär. Byggnaderna var däremot alltid mycket detaljerat beskrivna.

Studierna använde sig av både vintergröna och lövfällande träd men eftersom samtliga trädkronor i exempelvis Nikoofard et al. (2011) studie angavs som 6x4x4 meter med 0 % transparens gav de en jämn och heltäckande skugga som inte stämmer överens med skuggan från ett verkligt träd. samtliga lövfällande träd generaliserades även

till att ha full bladmassa från första april till första oktober vilket i verkligheten har en större variation beroende på trädart och växtsäsong. Om trädens nytta i staden ska nå en högre status och prioritet är det viktigt att informationen bygger på verkliga exempel och inte bara visar upp generella procentsiffror.

En liknande situation uppstod i 3D simuleringarna som beskrev skuggan av träds inverkan på byggnaders energiförbrukning vid varma temperaturer. Både Nikoofard et al. (2011) och Sawka et al. (2013) studier baserades på bostadshus medan industri, handels- och kontorshus inte ingick i undersökningarna. I regel står bostadshus oftast tomma mitt på dagen då dygnstemperaturen i regel är som varmast. Ytterligare en aspekt är att det inte är lika vanligt förekommande för bostadshus att ha luftkonditionering installerad i jämförelse med industrier och offentliga lokaler. Under dagtid då 3D simuleringarna mätte värdena för bostadshusen befann sig människorna i andra byggnader som exempelvis skolor och kontorsbyggnader. Så om undersökningarna baserat sina mätningar på den enskilda människans energiförbrukning istället för bostadshusets energiförbrukning så hade resultatet sett annorlunda ut. I lokaler där människan utför arbete som kräver en hög grad koncentrationsförmåga som exempelvis på jobbet eller i skolan finns en lägre tolerans för temperaturförändringar vilket driver på en ökad användning av klimatreglerande apparatur (Nordman et al. 2010). Detta på grund av att människan tänker och arbetar bättre om arbetsmiljön upplevs som varken för kall eller varm. Industrier, kontor och skolmiljöer innehåller idag en stor mängd elektronik som värmer upp inomhusklimatet vilket driver på behovet av kylning och så även energiförbrukningen. (Nordman et al.

2010) På grund av detta behov hade det varit intressant att läsa rapporter från simuleringar av exempelvis kontorsbyggnader eftersom träd antagligen hade gett ännu effektivare energibesparings resultat än för bostadshus.

För att kunna lyfta trädets status och förståelsen om det som byggnadsmaterial i staden behövs även ett ökat medvetande och kunskap om träds egenskaper och fördelar hos beslutsfattare och planerare. Framförallt behövs plan-, gestaltungsverktyg och metoder för att belysa bra tillvägagångssätt. Dessa verktyg och metoder är viktiga som hjälpmedel och underlag för diskussion och beslutsfattande. För att förankra ämnet med de tillvägagångssätt som används i praktiken tar uppsatsen upp lagstöd och program som stöd för att arbeta med strategisk planering av vegetation. Miljöbalken och PBL är statligt styrda organ och måste efterföljas av alla medan övriga verktyg är frivilliga och varje kommun bestämmer själva vad de vill uppnå. Eftersom kommunernas val på att efterfölja programmen beror på god vilja eller ekonomi kan det leda till att majoriteten av stadsträd inte utnyttjas för sin fulla potential vilket saktar ner de miljömål som Sverige och EU eftersträvar. En statlig satsning på att utveckla bra miljöcertifieringssystem som är anpassade efter svenska mått skulle kunna ge en positiv utveckling och uppmuntra kommuner till att använda verktygen mer frekvent.

Trots i-Tree verktygets många fördelar klarar verktyget inte av samma typ av detaljnivå som andra klimatsimuleringsprogram som exempelvis 3D-programmet ENVI-met. ENVI-met simulerar interaktion mellan urban miljö och mikroklimat och ger tydliga påverkningsresultat (ENVI-met 2014). I-tree tar inte heller exakt hänsyn till närliggande tomter eller omgivande strukturer vilket i största grad påverkar resultaten. Så även om i-Tree visar hur träd kan bidra till positiva effekter i form av ekosystemtjänster och liknande så är det snarare bedömt efter det samlade trädbeståndet i staden



(Urban canopy layer) vilket är viktigt att vara medveten om.

BEEAM och LEED är på frammarsch på den svenska marknaden. BREEAM-SE är vår försvenskade variant medan LEED fortfarande certifieras från USA. Systemen är viktiga eftersom de genomsyrar projektet redan i planskedets första början. Det är nödvändigt med tidig input för att kunna väga alla variablernas för och nackdelar emot varandra innan slutgiltiga beslut fattas. De ger även möjlighet till att följa upp projekten i efterhand vilket är en fördel eftersom mycket kan hända efter anläggningsskedet, särskilt gällande vegetationen.

Miljöbalken finns till för att lagstadga viktiga parametrar som måste efterlevas av alla inblandade parter. Bland de nio allmänna hänsynsreglerna om miljökrav i kapitel 3 och 4:a (Bilaga 3) är punkt 2 – Kunskapskravet och punkt 5a – Hushållningsprincipen särskilt intressanta för uppsatsämnet eftersom de handlar om att ha tillräcklig kunskap om hur miljön påverkas och skyddas samt att projektet ska vara energieffektivt. Hänsynsreglerna ger utrymme för en bred tolkningsfrihet men markerar vikten av punkternas innebörd eftersom det är lag att följa dem.

Grönytefaktorn stöder egentligen inte förekomsten av urbana träd i sig utan reglerar minsta mängden vegetation (där träd ingår), vid nyexploatering eller ombyggnad. Vegetationen som kvoterar in bedöms utefter dess positiva effekter för ekosystem, lokalt klimat eller hälsa och går oftast inte in på detaljer som exempelvis trädarters betydelse. Ytterligare en brist för metoden är att den i stor grad inte relaterar till områdets kontext, som exempelvis övrig stads- och grönstruktur, utan beräknar bara den aktuella ytan. Varje kommun gör även sin egen utformning om vilka riktlinjer

som ska gälla för grönytefaktorn och kan då välja om mer eller mindre vikt ska läggas på exempelvis träds inverkan på solstrålning mot bebyggelse. Eftersom grönytefaktorn är ett verktyg som flera städer har anammat principer ifrån finns det en stor utvecklingspotential. Av den anledningen är det inte att en omöjlighet att grönytefaktorn kan utvecklas till att uppmuntra till trädanvändning på ett effektivare sätt, bland annat eftersom allt fler verktyg höjer betydelsen av urbana träd som exempelvis data från träd databaser eller i-Tree liknande program.

Sammanfattningsvis kan alltså tydliga plan-, och gestaltningsverktyg bidra med vägledning om hur arbetsprocessen kan gå till samt underlätta för samarbete och beslut. Detta ökar förståelsen i diskussionerna mellan planerare, politiker, beställare eller andra inblandade parter vilket underlättar beslutsprocessen.

En ytterligare viktig egenskap är att våga ta hjälp andra yrkesprofessioner och samarbeta över gränserna inom planering, gestaltning, förvaltning för att kunna uppnå optimal energieffektivitet med hjälp av träd. Samarbete mellan yrkesprofessioner kan uppmuntras från kommunalt håll, där byggherrar, de kommunalt anställda, konsultföretag och enskilda som forskar i ämnet får en möjlighet att träffas inför planeringsstart eller kommande byggetapper.

### ***Fortsatt forskning***

Under arbetet med denna uppsats identifierades flera områden som skulle vara intressanta att skriva vidare om. Dessa ämnen handlar dels om människans perception av det mikroklimat som stadsträd mot bebyggelse skapar och de värdefulla hälsoaspekter som träd bidrar till, eftersom det finns en stor mängd forskning att tillgå om dessa ämnen. En annan angreppspunkt skulle vara att kartlägga de 3D-simuleringssystem som finns på marknaden och jämföra deras resultat av träds betydelse för energiförbrukning i olika typer av byggnader.

### ***Kommentarer***

I början av arbetets gång var jag tveksam till om träd hade nämnvärd inverkan på stadens temperaturer och påverkan av globala konsekvenser, men efter att ha börjat gå igenom litteraturen om ämnet överraskades jag om vilken otrolig betydelse träd gör och de fantastiska möjligheter som finns för att använda träd i stadsmiljö. För mig har det varit en drivkraft att skriva om något som bidrar med positiva effekter och som kan reducera vardagliga, likväl som globala komplikationer. Därför har jag gått från att ha en vag kunskap om ämnet till en helhjärtad önskan om att få implementera de kunskaper jag erfarit i verkliga projekt.



## Slutsats



(Lund, 2013)

## Slutsats

Uppsatsen uppfyller arbetets syfte och mål samt ger stöd åt argument som styrker trädens värde som temperaturreglerande element i staden. Träd har unika fördelar framför andra skugggivande material på grund av sin breda artdiversitet som erbjuder olika dimensioner, karaktärer och transmissivitetegenskaper vilket ökar trädens användningsmöjligheter över året. Tyvärr finns en tendens till att träd generaliseras i dagens litteratur, eftersom dess artspecifika och individuella karaktärsdrag ofta utelämnas.

Idag finns inget integrerat planeringsverktyg som tar hänsyn till platspecifika förutsättningar och teknisk artspecifik kunskap vad gäller trädens bidrag till hållbar stadsutveckling. Däremot så kan verktyg som i-Tree och grönytefaktorn ge en övergripande bild av exempelvis kvantitativ omfattning, medan information om platspecifika kvaliteter är begränsad. Trots att enskilda programvaror och miljöcertifieringsmetoder finns på marknaden för att ge ett kunskapsunderlag till hur olika träd kan skapa bättre klimatförhållanden, är de ännu inte en fullt integrerade i alla plan- och byggprocesser.



## Checklista

Under arbetets gång har ett antal punkter identifierats som mycket viktiga gällande stadsträds inverkan på solstrålning mot bebyggelse.

- Det effektivaste sättet att reglera solstrålning i urbana områden är med hjälp av träd. Öka därför mängden strategiskt planerade träd i staden. Det finns stor potential för nyplanteringar utmed trafikleder, torg, skolgårdar och industriell mark, för att nämna några exempel.
- Skugga mörka ytor som oftast når höga temperaturer, såsom gator, torg, väggar, tak och parkeringsplatser.
- Träds skuggningsförmåga är platsspecifik och avgörs av trädets geometri, kronans ljusgenomsläplighet, lövperiod, lövstorlek, placering, vinkeln till den yta som beskuggas samt solens läge och höjd över horisonten.
- Träds habitus, dimensioner och transmissivitet inom en och samma art varierar beroende på trädets utvecklingsfas och skick, vilket i sin tur påverkar skuggbildningen.
- Plantera enbart träd som kan utveckla sig arttypiskt på ståndorten och i de rådande yttre förhållandena. Om tillväxten blir hämmad blir även trädets positiva inverkan på ekosystemtjänster sämre, exempelvis skuggeffekten. Det blir även en ekonomisk förlust om träden dör.
- Flera träd i grupp eller som tillsammans skapar ett sammanhållande krontak har större inverkan på temperaturregleringen över ett område än vad splittrade ytor med träd har.
- Plantera träd i grupper och med olika skikt för ökad skuggeffekt. Gärna av olika åldrar och arter för att minimera risken för att hela beståndet dör samtidigt på grund av sjukdomsangrepp eller ålderdom.
- Trädens transmissivitet kan effektivt reducera kostnaderna för uppvärmning och kylning av byggnader.
- Ur en energieffektiv synpunkt är det omöjligt för Sverige att kopiera normer och stadsbyggnadsmetoder från sydligare breddgrader eftersom vi har andra klimatförutsättningar.
- Förutom trädets skugga påverkar även omgivningens temperatur, humiditet, byggnadens storlek, konstruktion, skick och syfte mängden energi som kan sparas i en byggnad.
- Stora träd vars krona helt eller delvis skuggar tak, har en effektiv kylningseffekt på inomhusklimatet i byggnaden.
- Träd placerade i sydväst har bäst reduceringsresultat för kylning av bebyggelse under varma soliga dagar.
- Tänk på att konsekvenserna av träds skuggning kan ge negativ effekt om trädets skugga hindrar ljusinsläpp och kyler huset under vinterhalvåret då behovet av värme och ljus är störst. Det kan även förhindra blöta ytor från att torka upp och is från att smälta.
- Använd gärna lövträd eftersom de ger skugga sommartid och släpper igenom ljus vintertid. En optimal lösning för det nordiska klimatet är att plantera trädarter som har en täckande lövmassa på sommaren men med ett glesare genomsläppligt grenverk under vintern.
- Transparensen mellan arter varierar stort under de olika årstiderna. Exempelvis kan Ginkgo Biloba ge upp till 99 % ljusgenomsläplighet vintertid.

- Kontor och handelshus i Sverige använder till stor del kylningsanordningar för att skapa ett behagligt arbetsklimat. Prioritera därför träd med exempelvis långsmala pelarhabitus mellan fönsterna som kan hjälpa till att kyla fasaderna samtidigt som utsikten behålls.
- Pelarformade träd kan användas i situationer då skuggan blir lång eftersom den ger en smal skugga och tar kortare tid på sig att förflytta sig förbi ett föremål.
- Träd med sent bladutspring och tidig lövfällning ger möjlighet till sol långt in på våren och även när det börjar bli kallare igen på höstkanten.
- Med fördel kan träd med tät krona på sommaren och gles krona på vintern planteras i syvästligt- till sydöstligtläge av en parkering för att kyla bilarna sommardag, och för tina upp isen på marken på vårkanten.
- Byggnader med fönster i söderläge som ej vill ha blockerad utsikt, kan ha träd stående i nära anslutning till fasaden med god ljusgenomsläpplighet både sommar och vinter.
- Det kan vara en fördel att samarbeta över gränserna med olika yrkesprofessioner för att kombinera olika informationskällor och synvinklar om exempelvis träd, energi eller urban miljö.

Källor



(Lund, 2013)

## Källor

### **Elektroniska källor**

Albedo. (2014). *Nationalencyklopedin*.  
<http://www.ne.se/lang/albedo> [2014-08-18]

BREEAM (2014). *What is BREEAM?*  
<http://www.breeam.org/about.jsp?id=66> [2014-04-02]

Evapotranspiration. (2014). *Nationalencyklopedin*.  
<http://www.ne.se/evapotranspiration> [2014-08-20]

ENVI-met. (2014). *About ENVI-met*. <http://www.envi-met.com/> [2014-08-25]

Gränsskikt. (2014). *Nationalencyklopedin*.  
<http://www.ne.se/gränsskikt/186907> [2014-08-19]

Habitus. (2014). *Nationalencyklopedin*.  
<http://www.ne.se/lang/habitus/196652> [2014-08-19]

i-Tree. (2014). *About i-Tree*.  
<http://www.itreetools.org/about.php> [2014-05-05]

Konvektion. (2014). *Nationalencyklopedin*.  
<http://www.ne.se/lang/konvektion> [2014-04-10]

Lokalklimat. (2014). *Nationalencyklopedin*.  
<http://www.ne.se/lang/lokalklimat> [2014-08-18]

Mikroklimat. (2014). *Nationalencyklopedin*.  
<http://www.ne.se/lang/mikroklimat> [2014-04-11]

Movium (2009-07-01). *Värdesätt träd – i pengar*.  
<http://www.movium.slu.se/arkiv?article=vardesatt-trad-i-pengar>  
 [2014-05-05]

SGBC (2014-04-16a) *BREEAM-SE*.  
<http://www.sgbc.se/certifieringssystem/breeam> [2014-05-03]

SGBC (2014-02-19b) *LEED*.  
<http://www.sgbc.se/certifieringssystem/leed> [2014-05-03]

Solstrålning. (2014). *Nationalencyklopedin*.  
[http://www.ne.se/lang/solstrålning](http://www.ne.se/lang/solstralning) [2014-08-19]

Transmission. (2014). *Nationalencyklopedin*.  
<http://www.ne.se/lang/transmission/330569> [2014-05-05]

USGBC (2014). *LEED* <http://www.usgbc.org/leed> [2014-05-02]

WWF (2013-10-22). *Vatten och grönska i staden ger flerfaldiga värden*. <http://www.wwf.se/vrt-arbete/hllbara-stder/ekosystemtjnst-och-biologisk-mngfald/vatten-och-grnska-i-staden-ger-flerfaldiga-vrden/1515787-hllbara-stder-3b-vatten-och-grnska-i-staden-ger-flerfaldiga-vrden> [2013-12-20]

## Rapporter

Boverket. (2010). *Mångfunktionella ytor – Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönsstruktur*. Karlskrona: Boverket, Myndigheten för samhällsplanering, byggande och boende

Dahl, C., Delshammar, E., Grip, E., Mårell, E., Rosengren, H., Björnsdotter, C. & Skärbäck, E. (2003). *Balanseringsprincipen: tillämpad i fysisk samhällsplanering. Ett samarbetsprojekt mellan stadsbyggnadskontoren i Helsingborg – Lund – Malmö*. Utgåva 2003-09-01. Helsingborg, Lund & Malmö: Stadsbyggnadskontoren i Helsingborg, Lund & Malmö. Tillgänglig: <http://www.lund.se/Global/Filer/balanseringsprincipen.pdf> [2014-02-13].

FHI, Statens folkhälsoinstitut. (2010). *Värmeböljor och dödlighet bland sårbara grupper – en svensk studie*. (Rapport, 2010:12). Östersund: Statens folkhälsoinstitut Tillgänglig: <http://www.folkhalsomyndigheten.se/pagefiles/12427/R2010-12-Varmeboljor-och-dodlighet-bland-sarbara-grupper.pdf> [2014-04-14].

Granath, F. Blom, G. Östergård, H. Andersson, J. Inghe, O. Hagbarth, U. Ivarsson, M. Hemmingsson, M & Siira, U. (2012). *Sammanställd information om Ekosystemtjänster*. Stockholm: Naturvårdsverket. NV-00841-12. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/regeringsuppdrag/2012/ekosystem-ekosystemtjanster/ekosystem-tjanster.pdf> [2014-01-18].

Nordman, R., Haglund Stignor, C., Rolfsman, L., Lindahl, M., Alsbjör, M. & Axell, M. (2010). *Nästa generations klimatkyla i bostäder och lokaler*. (SP Rapport 2010:50). Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Schlyter, T. & Bucht, E. (1977). *Klimatet i nya bostadsområden*. (SIB meddelande, 1976:20). Gävle: Statens institut för byggnadsforskning

Thorsson, S (2012). *Stadsklimatet - åtgärder för att sänka temperaturen i bebyggda områden*. Stockholm: Foi, Totalförsvarets forskningsinstitut & GU, Göteborgs Universitet, FOI-R—3415—SE. Tillgänglig: <http://www.foi.se/Global/Kunder%20och%20Partners/Projekt/Climatools/Rapporter%20och%20artiklar/Stadsklimatet.pdf> [2013-12-05].

Wikberger, C., Hjorth, G., Olsson, G., Åslund, M., Larsson, D., Hebert, M., Enarsson, L., Ahlberg, I., Kustvall-Larsson, V., Ackelman, H. och Lindgren, A. (2010). *Grönytefaktor för Norra Djurgårdsstaden, Hjorthagen*. (Grönytefaktor version 1.0). Stockholm: Stockholms stad Tillgänglig: <http://www.yumpu.com/sv/document/view/22786638/gronytefaktor-for-norra-djurgardsstaden-stockholmse> [2014-02-20].

## Tidskriftsartiklar

Åslund, M. (2004). Balansakt: Att bygga energisnåla hus. *Energivärlden*. Nr. 3, s. 6-9.



### **Tryckta källor**

Areskoug, M. (1999). *Miljöfysik: energi och klimat*. Lund: Studentlitteratur

Benedict, M. A. & McMahon, E. T. (2006). *Green Infrastructure. Linking Landscapes and Communities*. Washington, DC: Island Press.

Brown, R. D. & Gillespie, T. J. (1995). *Microclimatic Landscape Design - Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Deak Sjöman, J., Sjöman, H., Johansson, E. 2014. (i tryck) *Staden som växtplats*. Eds. Sjöman, H och Slagstedt, J. Studentlitteratur, Lund.

Heincke, C., Olsson, D. & Nilsson, C. (2012). *Grönt helt enkelt - en snabbguide till miljö- och energiklassningssystem för hållbara byggnader*. Kvänum : Swegon Air Academy.

Hough, M. (2004). *Cities and natural process: A basis for sustainability*. 2. ed. London ; New York: Routledge.

Pressman, N. (1995). *Northern Cityscape Linking Design to climate*. Yellowknife Winter Cities Association.

Russel, G. Marshall, B & Jarvis, P.G. (1989). *Plant canopies: their growth, form and function*. Cambridge: Cambridge University Press

Taesler, R., Statens institut för byggnadsforskning & Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. (1972). *Klimatdata för Sverige*. Stockholm: Sv. byggtjänst (distr.)

### **Uppsatser**

Dyer, A-L. (2013). *Krontätheten hos olika lövträdarter i avlövad tillstånd: en studie av trädkronors genomsläpplighet av solljus under vintern*. Alnarp: SLU, LTJ-fakulteten.

Landskapsingenjörsprogrammet (Fördjupningsarbete: Grundnivå, G2E)

### **Vetenskapliga artiklar**

Ahmed Memon, R., Leung, D.Y.C. & Chunho, L. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, vol. 20, ss. 120–128.

Akbari, H., Pomerantz, M. & Taha, H. (2001) Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy* vol. 70. No. 3, ss. 295–310.

Canton, M.A., Mesa, A., Cortegoso, J.L. & de Rosa, C. (2003). Assessing the Solar Resource in Forested Urban Environments: Results from the use of a Photographic-Computational Method. *Architectural Science Review*, vol. 46, ss. 115-123.

Coutts, A.M., Beringer, J. & Tapper, N. (2007) Impact of increasing urban density on local climate: Spatial and temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 46, ss. 477-493.

Dimoudi, A. & Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings* vol. 35, ss. 69-76.

Eliasson, I., Knez, I., Westerberg, U., Thorsson, S & Lindberg, F. (2007). Climate and behaviour in a Nordic city. *Landscape and Urban Planning* vol. 82, ss. 72-84.

Glaumann, M. & Nord, M. (1993). Uteklimat. *Stad & Land*, nr. 113, ss. 6-93

Heisler, G. M. (1986). Effects of Individual Trees on the Solar Radiation Climate of Small Buildings. *Urban Ecology*, vol. 9, ss. 337-359.

Jackson, L. E. (2003). The relationship of urban design to human health and condition. *Landscape and Urban Planning* vol. 64, ss. 191-200.

McPherson, E.G. (1992). Accounting for benefits and costs of urban greenspace. *Landscape and Urban Planning*, vol. 22, ss. 41-51.

Nikolopoulou, M., Baker, N. & Steemers K. (2001). Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy* vol. 70. No. 3, ss. 227-235.

Nikoofard, S. Ugursal, V.I & Beausoleil-Morrison, I. (2011). Effect of external shading on household energy requirement for heating and cooling in Canada. *Energy and Buildings*, vol. 43, ss. 1627-1635

Papadakis, G., Tsamis, P. & Kyritsis, S. (2001). An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings*, vol. 33, ss. 831-836.

Raeissi, S. & Taheri, M. (1999). Energy saving by proper tree plantation. *Building and Environment*, vol. 23, ss. 565-570.

Roy, S. Byrne, J & Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 11, ss. 351- 363

Sattler, M.A., Sharples, S. & Page, J.K. (1987). The geometry of the shading of buildings by various tree shapes. *Solar Energy*, vol 30, ss. 187-201.

Sawka, M., Millward, A.A., McKay, J. & Sarkovich, M. (2013) Growing summer energy conservation through residential tree planting. *Landscape and Urban Planning*, 113, ss. 1- 9.

Yu, Z., Haghighat, F., Fung, B. C.M. & Yoshino, H. (2010). A decision tree method for building energy demand modeling. *Energy and Buildings*, vol. 42, ss. 1637-1646.

Yu, C. & Hien, W.N. (2006). Thermal benefits of city parks. *Energy & Buildings*, vol. 38(2), ss. 105-120.



Bilagor



Stockholm, 2013)

## Bilagor

### ***Bilaga 1: Stadsträds positiva egenskaper vid varma temperaturer.***

De fyra mest framstående fördelarna med urbanaträd under varma temperaturer i staden som framhålls enligt Dimoudi & Nikolopoulou (2003). (Dimoudi & Nikolopoulou 2003 s. 70.)

---

- Skuggan från träd reducerar infallande solstrålning mot fönster, väggar och tak
- När den infallande solstrålningen reduceras så sänks byggnadens ytemperatur vilket minskar dess värmestrålnings utbyte med luft och atmosfär
- Träd reducerar konduktiv (ledande) och konvektiv (borttransporterande) värmeökning på grund av att de sänker luftens temperatur genom evapotranspiration
- Träds evapotranspiration bidrar till ökad luftfuktighet som har en kylande funktion av stadstemperaturen



**Bilaga 2: Träd med tidigt, medel samt sent bladutspring.**

Tabellen visar på vilka trädarter som har en tidig, medel respektive sen bladutveckling. Sammanställningen är baserad på en studie i Alnarpsparken (zon 1). (Deak Sjöman et al. 2014)

Träd med tidigt bladutspring (mars-april)	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Hästkastanj
<i>Betula pendula</i>	Vårtbjörk
<i>Prunus padus</i>	Hägg
<i>Sorbus commixta</i>	Japansk rönn

Träd med medeltidigt/medelsent bladutspring (april-maj)	
<i>Acer campestre</i>	Naverlönn
<i>Acer platanoides</i>	Skogslönn
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Tysklönn
<i>Acer saccharinum</i>	Silverlönn
<i>Carpinus betulus</i>	Avenbok
<i>Cercidiphyllum japonicum</i>	Katsura
<i>Malus sp.</i>	Prydnadsaplar
<i>Fagus sylvatica</i>	Bok
<i>Quercus robur</i>	Skogsek
<i>Quercus rubra</i>	Rödek
<i>Tilia cordata</i>	Skogslind
<i>Tilia platyphyllos</i>	Bohuslind
<i>Ulmus glabra</i>	Skogsalm

Fortsättning på nästa sida.

<b>Träd med sent bladutspring (maj-juni)</b>	
<i>Ailanthus altissima</i>	Gudaträd
<i>Carya ovata</i>	Skidhickory
<i>Castanea sativa</i>	Äkta kastanj
<i>Catalpa speciosa</i>	Praktkatalpa
<i>Cercis siliquastrum</i>	udasträd
<i>Cladrastis kentukea</i>	Amerikansk gulved
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Smalbladig ask
<i>Fraxinus ornus</i>	Mannaask
<i>Gleditsia triacanthos</i>	Korstörne
<i>Gymnocladus dioicus</i>	Kentuckykaffeträd
<i>Juglans nigra</i>	Svart valnöt
<i>Juglans regia</i>	Vanlig valnöt
<i>Koelreuteria paniculata</i>	Kinesträd
<i>Liriodendron tulipifera</i>	Tulpanträd
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Ambraträd
<i>Maackia amurensis</i>	Maackia
<i>Magnolia acuminata</i>	Poppelmagnolia
<i>Morus alba</i>	Vitt mullbär
<i>Paulownia tomentosa</i>	Kejsarträd
<i>Phellodendron amurense</i>	Sibiriskt korkträd
<i>Platanus x hispanica</i>	Platan

<i>Quercus velutina</i>	Färgek
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robinia
<i>Styphnolobium japonicum</i>	Pagodträd
<i>Taxodium distichum</i>	Sumpcypress
<i>Tetradium daniellii</i>	Falskt korkträd
<i>Toona sinensis</i>	Kinesisk toon

### Bilaga: 3 Träds förmåga av ljusgenomsläpplighet

Sammanställning av olika lövträds ljusgenomsläpplighet vintertid samt en uppskattning av deras bladmassa sommartid.

Artnamn	Trädkronans genomsläpplighet vintertid (%) (Dyer 2013)	Bladmassa sommartid (Deak Sjöman et al.2014)
Acer campestre 'Elsrijk'	93	Medium
Acer campestre	88	Medium
Acer negundo	92	Gles
Acer platanoides 'Columnare'	91	Tät
Acer platanoides 'Emerald Queen'	94	Tät
Acer platanoides 'Globosum'	83	Mycket tät
Acer platanoides	94	Tät
Acer pseudoplatanus 'Negenia'	94	Tät
Acer pseudoplatanus 'Rotterdam'	93	Tät
Acer pseudoplatanus	93	Tät
Acer rubrum	96	Medium
Acer saccharinum	93	Gles
Aesculus carnea 'Briotii'	94	Tät
Aesculus hippocastanum	93	Tät

'Baumannii'		
Aesculus hippocastanum	94	Tät
Ailanthus altissima	96	Gles
Alnus cordata	92	Medium
Alnus glutinosa	96	Medium
Carpinus betulus 'Frans Fontaine'	88	Tät
Carpinus betulus	93	Tät
Castanea sativa	92	Tät
Corylus colurna	94	Tät
Fagus sylvatica	93	Mycket tät
Fraxinus americana 'Zundert'	94	Tät
Fraxinus angustifolia 'Raywood'	93	Gles
Fraxinus excelsior 'Nana Kuele'	93	Medium
Fraxinus excelsior 'Robusta'	88	Medium
Fraxinus excelsior 'Westhofs Glorie'	91	Medium
Fraxinus excelsior	92	Medium
Fraxinus ornus	88	Gles
Ginkgo biloba	99	Gles
Gleditsia triacanthos	92	Gles
Liriodendron tulipifera	96	Medium
Metasequoia glyptostroboides	90	Medium
Platanus acerifolia	93	Tät
Populus alba 'Nivea'	87	Medium

Populus canescens 'De Moffart'	88	Medium
Populus trichocarpa 'OP42'	93	Medium
Populus trichocarpa 'Poca'	90	Medium
Prunus avium 'Plena'	89	Medium
Prunus avium	93	Medium
Pyrus caucasica	88	Medium
Pyrus communis 'Beech Hill'	93	Medium
Quercus cerris	91	Medium
Quercus frainetto	93	Medium
Quercus palustris	92	Medium
Quercus petraea	80	Medium
Quercus robur 'Fastigiata'	81	Tät
Quercus robur	91	Medium
Quercus rubra	90	Tät
Robinia pseudoacacia 'Bessoniana'	93	Gles
Robinia pseudoacacia 'Nyrsegi'	93	Gles
Robinia pseudoacacia 'Umbraculifera'	90	Gles
Robinia pseudoacacia	92	Gles
Salix alba 'Chermesina'	81	Gles
Salix alba 'Liempde'	93	Gles
Salix alba 'Saba'	88	Gles

Salix alba 'Sibirica'	87	Gles
Salix alba	90	Gles
Sophora japonica 'Regent'	92	Gles
Sophora japonica	90	Gles
Tilia cordata 'Erecta'	86	Tät
Tilia cordata 'Greenspire'	88	Tät
Tilia cordata 'Rancho'	87	Tät
Tilia cordata	87	Tät
Tilia euchlora 'Frigg'	88	Tät
Tilia euchlora	89	Tät
Tilia europaea 'Pallida'	91	Tät
Tilia hybrid 'Odin'	89	Tät
Tilia platyphyllos 'Fenris'	91	Tät
Tilia platyphyllos 'Rubra'	87	Tät
Tilia platyphyllos 'Örebro'	90	Tät
Tilia platyphyllos	87	Tät

---

**Bilaga 4: De nio allmänna hänsynsreglerna om miljökrav i Miljöbalkens kapitel 3 och 4:a.**

Hänsynsreglerna utgör kärnan i Miljöbalken. Kapitel 3 och 4:a rör fysisk planläggning och ska efterlevas av alla inblandade parter. (Dahl et al. 2003 s. 13.)

---

1. Bevisbörderegeln: Visar att reglerna följs
2. Kunskapskravet: Att ha tillräcklig kunskap om hur miljön och människors hälsa påverkas och skyddas
- 3a. Försiktighetsprincipen: Redan risken för skador och olägenheter medför en skyldighet att vidta åtgärder
- 3b. Förorenaren-betalar-principen: Den som riskerar att skada ska betalar för att undvika skadan
- 3c. Bästa-möjliga-teknik-principen: För yrkesmässig verksamhet ska bästa möjliga teknik användas för att förebygga skador och olägenheter
4. Lokaliseringsprincipen: Platsen ska väljas så att ändamålet kan uppnås med minsta intrång och olägenhet
- 5a. Hushållningsprincipen: Råvaror och energi skall användas så effektivt som möjligt
- 5b. Kretsloppsprincipen: Återanvändning, materialåtervinning, energiutvinning, deponering
6. Produktvalsprincipen: Ersätt en kemisk produkt eller en bioteknisk organism med en mindre farlig om det är möjligt.
7. Skälighetsregeln: Kraven på hänsyn skall vara miljömässigt motiverande utan att vara orimliga att uppfylla
8. Skadeansvaret: Den som orsakat en skada på miljön ansvarar för att skadan blir avhjälpt
9. Stoppregeln: En verksamhet som kan medföra betydande skada eller olägenhet trots att hänsynsreglerna tillämpas skall stoppas



**Bilaga 5: BREEAMs klassningssystem s tio kategorier med sammanfattade bedömningspunkter.**

(Heincke et la. 2012 s. 22)

<b>Management</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Idriftsättning</li> <li>• Säkerhet</li> <li>• Byggplatsens påverkan</li> </ul>	<b>Avfall</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Byggavfall</li> <li>• System för återvinning</li> <li>• Återvinning</li> </ul>
<b>Hälsa och Välmående</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dagsljus</li> <li>• Akustik</li> <li>• Belysning</li> <li>• Termisk komfort</li> <li>• Inomhusluft- och vattenkvalitet</li> </ul>	<b>Föroreningar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Köldmediumanvändning och läckage</li> <li>• Nox emissioner</li> <li>• Ljus- och ljudstörningar utifrån</li> <li>• Översvänningsrisk</li> <li>• Föroreningar av vattendrag</li> </ul>
<b>Energi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CO2 emissioner</li> <li>• Undermätning av energi</li> <li>• Låg eller noll fossila tekniker</li> <li>• Energieffektiva byggnadssystem</li> </ul>	<b>Markanvändning och Ekologi</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Val av plats</li> <li>• Bevarande av ekologiska värden</li> <li>• Bevarande av ekologisk särart</li> </ul>
<b>Transport</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokaltrafik</li> <li>• Tillgång till service</li> <li>• Gång- och cykelvägar</li> <li>• Reseplanering och information</li> </ul>	<b>Material</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Livscykelpåverkan av material</li> <li>• Ursprungsansvar</li> <li>• Återanvändning av material</li> <li>• Hållbarhet</li> </ul>
<b>Vatten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Förbrukningen</li> <li>• Återanvändning och vattenåtervinning</li> </ul>	<b>Innovation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exemplarisk prestanda</li> <li>• Ny teknik, byggt teknik och byggprocesser</li> <li>• Användning av BREEAM Accredited Professionals</li> </ul>

---

**Bilaga 6: Tabellen visar i-Trees  
analyseringsfunktioner som är relevanta för  
stadsträds användning.**  
(i-Tree 2014)

---

**I-Tree Eco:** ”Ger en bred överblick över beståndet av urban skog. Den använder sig av inventerad fältdata från hela eller delar av områden tillsammans med data om lokala luftföroreningar och meteorologiska värden. Via informationen tar programmet fram resultat som fastställer den urbana skogens struktur samt betydelse för miljön och värde för samhället.”

**I-Tree Streets:** ”Fokuserar på fördelarna som gatu- eller stadsträd ger. Programmet använder sig av ett urval eller en komplett inventering som tar fram det ekonomiska värdet på gatuträdens årliga miljö- och estetiska fördelar.”

**I-Tree Vue:** ”Använder satellitbilder som ger information om markyta, inklusive kronskiktet och en del ekosystemtjänster som träden tillhandahåller. Det går även att bedöma och modellera upp positiva effekter av framtida planteringsscenarier.

**I-Tree Design:** ”Ett online verktyg som ger en plattform för bedömningar av enskilda eller flera träd för ett särskilt område. Detta verktyg länkar till Google Maps och visar hur trädval, trädstorlek och placering vid bebyggelse påverkar energianvändning och andra förmåner.”

**I-Tree Canopy:** ”Erbjuder ett snabbt och enkelt sätt att producera en statistiskt giltig uppskattning av markanvändningstyper (exempelvis trädskiktet) med flygbilder tillgängliga i Google Maps. Den senaste versionen av programmet uppskattar även värden för minskning av luftföroreningar och koldioxid. Det kan även uppskatta krontäckning, sätta mål för dess utbredning och övervaka förändringarna över tid.

